



**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП  
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО  
ШТИП**

**ЗОРАНЧО БОГДАНОВСКИ**

**„ОПТИМИЗАЦИЈА НА РАБОТНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА РОТОРЕН БАГЕР  
СРС-2000 ПРИ ОТКОПУВАЊЕ НА ЈАЛОВИНА ВО ПК БРОД-ГНЕОТИНО“**

**МАГИСТЕРСКИ ТРУД**

**Штип, април 2012 година**

**Комисија за оценка и одбрана:**

Ментор:                д-р Зоран Панов  
                              Професор на ФПТН УГД - Штип

Член                    д-р Ристо Дамбов  
                              Професор на ФПТН УГД - Штип

Член                    д-р Зоран Десподов  
                              Професор на ФПТН УГД - Штип

**Членови на комисија за оценка и одбрана:**

Претседател        д-р Ристо Дамбов  
                              Професор на ФПТН УГД - Штип

Член                    д-р Зоран Панов  
                              Професор на ФПТН УГД - Штип

Член                    д-р Зоран Десподов  
                              Професор на ФПТН УГД - Штип

Научно поле :        техничко –технолошки науки

Научна област :    Површинска Експлоатација на минерални сировини

Датум на одбрана : \_\_\_\_\_

Датум на промоција : \_\_\_\_\_

## **Благодарност**

Огромна почит и голема благодарност упатувам до наставно-научниот кадар на Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип, што овозможи оваа високообразовна установа да прерасне и да биде она што е денес, поради што особено ми е драго што бев студент на вториот циклус студии на овој Универзитет.

Посебна благодарност би упатил на целокупниот наставно-научен кадар од Институтот за рударство за големиот труд и постигнатиот успех за развој на ова поле од стручно-научен аспект на овој Универзитет, со што ни овозможија да ја усовршине и надградиме својата стручност.

Сепак, најголема благодарност за моралната и стручна поддршка, стручни совети, консултации, сугестии и насока за изработката на овој магистерски труд упатувам до мојот ментор проф. д-р Зоран Панов.

Голема благодарност изразувам и до членовите на комисијата, Професор д-р Ристо Дамбов и Професор д-р Зоран Десподов, за огромениот придонес да овој труд добие комплетен изглед од стручно-научен аспект.

На моите колеги од ПЕ Рудници РЕК-Битола им се заблагодарувам за соработката при изработката на овој труд.

Исто така, изразувам благодарност до сите кои присуствуваат на одбраната на овој магистерски труд, што ми претставува огромна чест.

## **НАСЛОВ НА МАГИСТЕРСКИОТ ТРУД**

### **ОПТИМИЗАЦИЈА НА РАБОТНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА РОТОРЕН БАГЕР СРС-2000 ПРИ ОТКОПУВАЊЕ НА ЈАЛОВИНА ВО ПК „БРОД-ГНЕОТИНО“**

#### **Краток извадок**

Оптимализацијата на работните параметри се состои од избор на едно решение за оптимално, од наведените алтернативни решенија, за обезбедување на подобар годишен капацитет на ископ на јаловина со роторен багер СРС - 2000. Оптимализацијата на работните параметри, вклучува анализирање на остварените капацитети на јаловина со багерот СРС 2000 при работа во изминатите години во Рудникот „Суводол“, како и при сегашната работа во Рудникот „Брод – Гнеотино“, со примена на повеќекритериумската оптимализација, анализа на резултатите и донесување на заклучоци од истражувањето. Имено, повеќекритериумската оптимизација дава можност за оптимизирање не само по една критериумска функција, туку и вклучување на други критериумски функции со различит карактер.

Оптимизацијата на работните параметри на роторен багер СРС 2000 е направена во основа од добиените резултати во истражувањето од кој се состои и донесувањето на одлука за примена на работните параметри со кои багерот ќе постигне најдобри резултати. Изборот на оптимални работни параметри на роторениот багер СРС 2000 е направен за неколку варијантни решенија по критериум на Promethee рангирање на понудените технолошки начини на работа на роторниот багер СРС 2000.

**Клучни зборови:** *варијанта, податоци, критериум, капацитет, технологија, рангирање, параметри.*



## **Title**

# **OPTIMIZATION OF OPERATING PARAMETERS OF ROTO EXCAVATOR SRS-2000 DURING MULLOCK EXCAVATION IN OPEN MINE "BROD-GNEOTINO"**

## **Abstract**

Optimization of operating parameters consisting of a selection of one optimal solution of the following alternative solutions to provide better annual capacity of goaf excavation by excavator SRs- 2000. Optimization of operating parameters includes analyzing the capacity of the slagmullock excavated by SRs 2000 excavator at work in recent years in the open mine Suvodol, as well as current work in the mine Brod - Gneotino by applying multicriteria optimization, analysis of results, and research make conclusions. The multicriteria optimization provides the ability to optimize not only by a one criteria function, but to include other features with differed criteria character.

Optimization of operating parameters of roto excavator SRs 2000 is made on basis of results obtained in the survey which includes the adoption of a decision on the application of operating parameters that will achieve the best excavator results. Choice of optimal working parameters of the excavator SRs 2000 is made of several alternative solutions by Promethee ranking criteria of the offered technological modes of roto excavator SRs 2000.

**Key words:** *variant, data, criteria, capacity, technology, ranking, parameters.*

## **СОДРЖИНА**

<b>1. ВОВЕД</b>	<b>4</b>
1.1. Предмет на истражувањето	4
1.2. Цели на истражувањето	5
1.3. Методологија на истражувањето	5
 <b>2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА РОТОРНИТЕ БАГЕРИ</b>	<b>6</b>
<b>(РАБОТНИ ДИМЕНЗИИ, ОРГАНИ И ПАРАМЕТРИ)</b>	
2.1. Зависност на параметрите на ископот од работните димензии на роторниот багер (геометрија на ископот)	10
2.2. Зависност на параметрите на резот и капацитетот на роторниот багер (геометрија на копање)	24
2.3. Капацитети и коефициенти на искористеност на роторните багери	34
2.3.1. Теоретски капацитет на роторниот багер	37
2.3.2. Технички капацитет на роторен багер	38
2.3.3. Капацитет на ископ на роторен багер	42
2.3.4. Експлоатационен капацитет на роторен багер	44
 <b>3. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЛЕЖИШТЕТО</b>	<b>53</b>
3.1. Геолошки карактеристики	53
3.2. Географски и хидролошки карактеристики	57
3.3. Структурно-тектонски карактеристики	59
3.4. Геомеханички карактеристики	59
 <b>4. АНАЛИЗА НА ОСНОВНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА РОТОРНИОТ БАГЕР СРС-2000 ПРИ ОТКОПУВАЊЕ НА ЈАЛОВИНА ВО ПК „БРОД- ГНЕОТИНО“</b>	
4.1. Технички карактеристики на роторниот багер СРС 2000-32/5, (2x500kW)+VR(+0/8)	63
4.2. Технологија на откопување на I БТО СИСТЕМ со роторен багер СРС – 2000	71
4.3. Технолошки шеми на откопување на откопување на јаловината во рудникот „Брод-Гнеотино“ со роторниот багер СРС -2000	72

<b>5. ОПШТИ МЕТОДИ НА ОПТИМИЗАЦИЈА</b>	<b>84</b>
5.1. Општо за повеќекритериумската метода на оптимизација	84
5.1.1. Методи на повеќекритериумско одлучување	87
5.1.1.1. Трансформација на квалитетите на атрибути	88
5.1.1.2. Методи на повеќекритериумско одлучување	90
5.1.2. Методи на повеќекритериумско одлучување	92
5.2. Методи за повеќекритериумска оптимизација кои се најчесто применувани	93
5.2.1. Метода PROMETHEE I и PROMETHEE II	96
❖ МЕТОДА PROMETHEE I	
❖ МЕТОДА PROMETHEE II	
5.3. Изработка на моделот	103
<b>6. ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РАБОТНИ ПАРАМЕТРИ НА РОТОРНИОТ БАГЕР CPC-2000</b>	<b>106</b>
6.1. Одредување на резните елементи на роторниот багер CPC-2000	109
6.1.1. Висина на блокот	109
6.2. Агол на наклон на страничната косина	114
6.3. Агол на наклон на челната косина	116
6.4. Агол на слободно режење	118
6.5. Ширина на блокот	120
6.6. Должина на откопување на блокот	121
<b>7. КАПАЦИТЕТИ НА РОТОРНИТЕ БАГЕРИ</b>	<b>124</b>
7.1. Општо за капацитетот на роторниот багер и анализата на влијателните фактори врз капацитетот	124
7.1.1. Максимална висина на блокот	128
7.1.2. Ширина на блокот	128
7.1.3. Должина на откопување на блокот	129
7.1.4. Време на откопување на еден блок	131
7.1.5. Време на промена на резот	133
7.1.6. Време на промена на подетажата	133
7.1.7. Време на промена на блокот	134

7.2. Експлоатационен капацитет -----	135
7.3. Пресметка на капацитетот на роторниот багер CPC -2000-32/5-----	135
7.3.1. Експлоатационен капацитет -----	139
7.3.2. Одредување годишно време на работа на багерот CPC 2000 при континуирана работа во рудникот „Брод – Гнеотино“ -----	140
8. ОПТИМИЗАЦИЈА НА КАПАЦИТЕТОТ НА РОТОРНИОТ БАГЕР CPC - 2000-32/5 СПОРЕД ТРИТЕ АЛТЕРНАТИВНИ РЕШЕНИЈА (A1, A2 и A3) -----	142
8.1. АЛТЕРНАТИВА - A1	
Оптимизација на капацитетот на роторниот багер CPC -2000-32/5 во блок 55 m ширина и 20 m висина -----	142
8.2. АЛТЕРНАТИВА - A2	
Оптимизација на капацитетот на роторниот багер CPC - 2000-32/5 при работа на багерот од -3 m во однос на транспортерот -----	143
8.3. АЛТЕРНАТИВА - A3	
Оптимизација на капацитетот на роторниот багер CPC - 2000 - 32/5 при работа отстапно - настапно – 5 m во ламели -----	144
8.4. Дефинирање на повеќекритериумски модел -----	145
8.5. Анализа на проблемот и утврдување на варијантните решенија--	149
8.6. Избор и идентификација на критериумите -----	150
8.7. Утврдување на влијанија (тежини) на критериумите -----	152
8.8. Нормализирани тежини и цел на критериумите -----	153
8.9. Повеќекритериумскиот модел -----	154
9. РЕШАВАЊЕ НА ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКИ МОДЕЛ СО МЕТОДА PROMETHEE I и PROMETHEE II -----	157
10. ДИСКУСИЈА -----	163
11. ЗАКЛУЧОК -----	165
КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА -----	172

## **1. ВОВЕД**

Од досегашното искуство при работењето во рудникот „Суводол“ е евидентно влијанието на инженерско-геолошките и геомеханичките карактеристики врз технологијата на откопување на јаловината со роторните багери CPC - 2000, што се очекува и при експлоатацијата во рудникот „Брод-Гнеотино“. Технологијата на откопување, а со тоа и дефинирање на оптимални работни параметри на работа на двата - БТО системи во рудникот „Брод-Гнеотино“ со роторниот багер CPC - 2000/1 и роторниот багер CPC - 2000/2 е во директна зависност од висината на работните блокови, нивната геомеханичка стабилност, работните челни и бочни агли, проектираниот завршен агол на копот, како и физичко - механичките карактеристики на работната средина. Техничко - технолошките карактеристики на основната опрема се исто така битни фактори кои влијаат врз технологијата на откопување.

Всушност и целта на оваа магистерска работа е да се земат предвид сите овие претходно наведени фактори и да се одреди начинот односно технологијата на откопување на јаловината со роторниот багер CPC –2000 врз основа на добиените резултати (со кои оптимални работни параметри ќе се добијат најдобри резултати).

### **1.1. Предмет на истражувањето**

Предмет на истражувањето на овој магистерски труд е одредување на оптимални работни параметри на багерот CPC - 2000.

Во рудникот „Брод-Гнеотино“ откривањето на јагленовите слоеви се врши со два јаловински БТО – система, така што на двата система експлоатацијата на јаловината се врши со еден багер CPC - 2000.

Заради остварување на подобри експлоатациони капацитети на багерите CPC - 2000 за експлоатација на јаловина во рудникот „Брод-Гнеотино“, цел на овој магистерски труд е да се добијат оптималните работни параметри на багерот во различни услови на работа гледано од геомеханичките карактеристики на материјалот на експлоатација, хидрогеолошките карактеристики на материјалот, како и технолошките можности за работа на багерот.

## **1.2. Цели на истражувањето**

Основните цели на истражувањето во овој магистерски труд се преку комплексно разгледување и анализирање на активностите поврзани со експлоатацијата на јаловината во рудникот „Брод – Гнеотино“ со роторен багер CPC - 2000 се дојде до оптимални параметри на работа со кои би се постигнале задоволителни резултати, односно во зависност од постоечките услови на работа се постигнати максимални експлоатациони капацитети со одредени техничко-технолошки карактеристики кои ги поседува роторниот багер CPC - 2000.

Во контекст на целите на ова истражување, во овој магистерски труд се искористени и досегашните искуствени резултати на роторниот багер CPC - 2000 при работењето во рудникот „Суводол“, со цел да се најде правилно решение за начините на експлоатација на багерот во зависност од постоечките услови на работа, со што би се елиминирале на највисоко можно ниво сите појави кои можеле да придонесат за евентуални несакани последици во спроведувањето на производно-техничкиот процес при експлоатацијата на јаловината со багерот CPC - 2000 во Рудникот „Брод – Гнеотино“.

Со оваа магистерска тема се има за цел да се разработат и можните технолошки шеми на работа на роторниот багер CPC - 2000 врз основа на кои ќе се добијат и оптималните параметри за работа на багерот во одредени услови на работа.

## **1.3. Методологија на истражувањето**

Методите на истражувањето на овој магистерски труд се засноваат на постоечките резултати остварени со досегашната работа на багерот CPC – 2000 во изминатиот период во рудник „Суводол“ со различните техничко-технолошки услови на работа, хидрогеолошки, геоморфолошки, структурно-тектонски и геомеханички карактеристики на работната средина. Исто така, методологијата на истражувањето е во функција и на моменталните услови на работа на багерот и неговите техничко-технолошки карактеристики кои ги поседува.

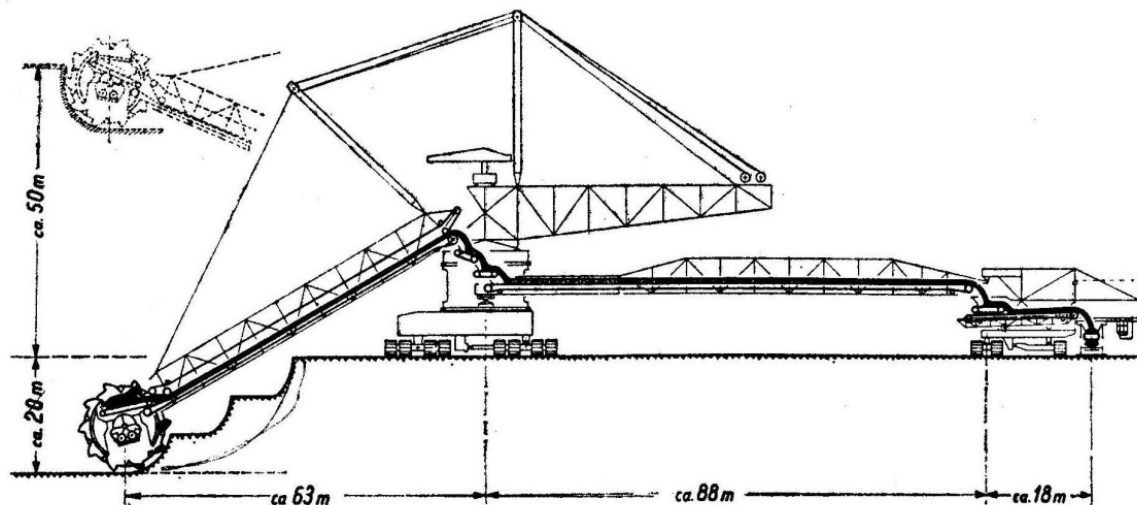
## 2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА РОТОРНИТЕ БАГЕРИ (РАБОТНИ ДИМЕНЗИИ, ОРГАНИ И ПАРАМЕТРИ)

Конструктивно-роторните багери се разликуваат, главно, според конструкцијата на горниот механизам, односно механизмот на горната ротациона платформа:

- Рам конструкција во облик на буквата С, што е карактеристично за багерите произведени во поранешната Германска Демократска Република.

- Конструкција со една вертикална решетка, карактеристично за роторните багери со мала и средна маса.

- Конструкција со две вертикални решетки, најчесто кај багерите произведени во Сојузна Република Германија. Предната решетка е зглобно поврзана со ротационата платформа, а задната е цврсто поврзана за неа. Двете решетки меѓусебно, а и со стрелата, односно носачот на роторот се поврзани со систем од јажиња.



**Слика 1.** Роторен багер без извлекување на стрелата

**Figure 1.** Roto excavator without mast extracting

Според конструкцијата на стрелата, носачот на роторот, разликуваме:

- Роторни багери без извлекување на стрелата, односно со константна должина на стрелата, без можност за нејзино надолжно поместување и ваквиот багер за секој рез мора да се поместува со систем од гасеници.

- Роторни багери со мало извлекување на стрелата, односно стрелата е со константна должина, но постои можност за нејзино мало надолжно поместување. Ваквиот роторен багер може без поместување да ги обработи сите резони во еден слој.
- Роторни багери со константна должина на стрелата, но со можност а нејзино големо надолжно поместување. Ваквиот роторен багер може без поместување да ги обработи сите резони во сите слоеви на еден блок, односно целата длабочина на блокот од едно место.
- Роторни багери со телескопско извлекување на стрелата, што значи дека кај овие багери стрелата е со променлива должина. Ваквите роторни багери може без поместување да ги обработи сите резони во сите слоеви во блокот, т.е. целата длабочина на блокот од едно стационарно место. Телескопската стрела, наместо нејзино извлекување со лизгање, е карактеристична за поновите конструкции на багери со мала и средна маса.



**Слика 2.** Роторен багер CPC - 2000

**Figure 2.** Roto Excavator Srs-2000

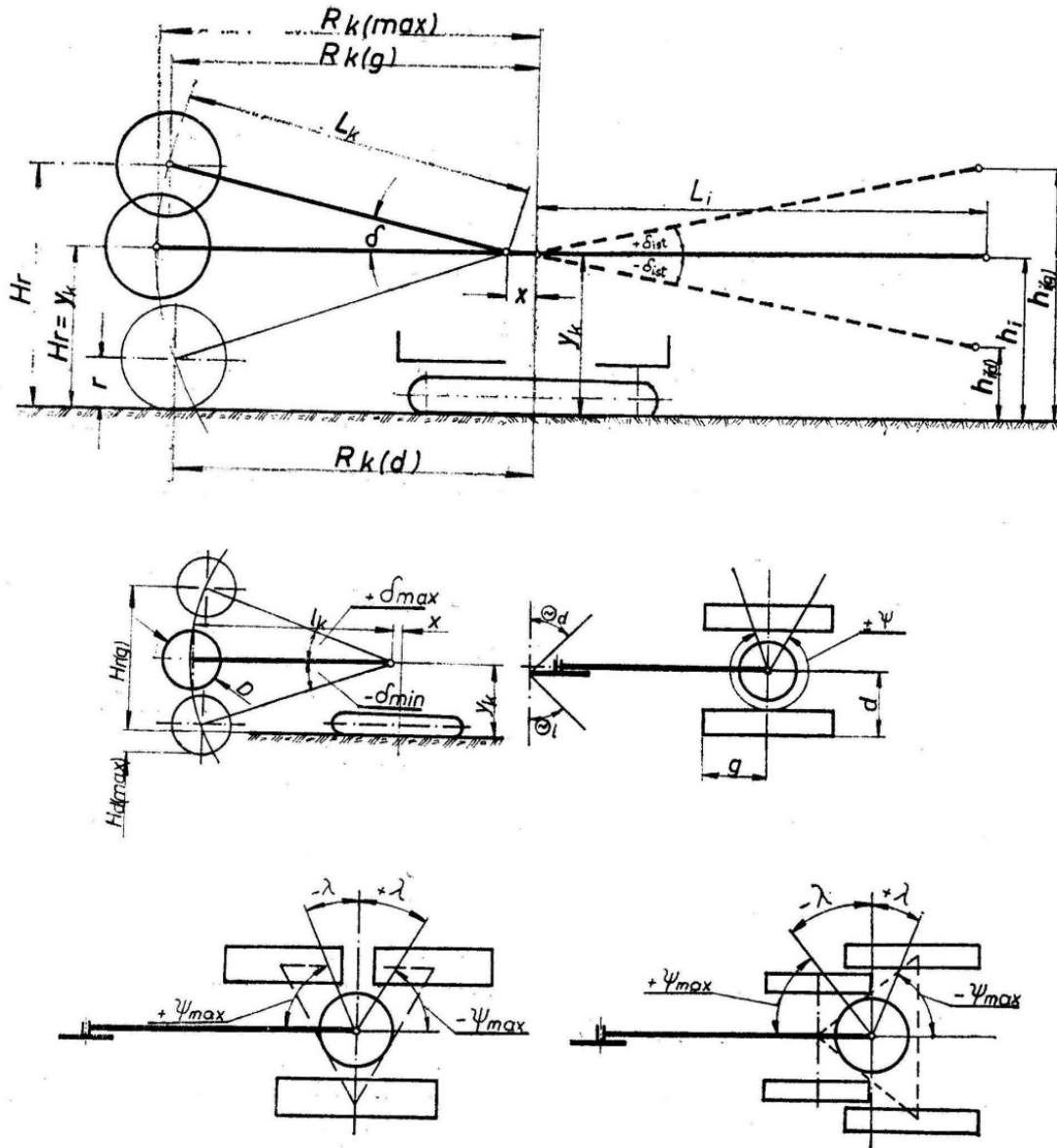
Покрај наведените класификации на роторните багери треба да се споменат и роторните багери наменети за работа на наклон, роторни багери со хоризонтално поместување само на транспортната лента на стрелата и истоварната конзола, роторни багери со зголемена сила на копање и сл.



Работните димензии (параметри) на роторниот багер без извлекување на стрелата се:

- $L_k$  - Должина на стрелата (носачот на роторот) од висината на роторот (работното тркало) до осовината на вртење или местото на прицврстување на багерот;
- $D$  - Дијаметар на роторот мерен по рабовите на забите на корпите (радиус  $r$ );
- $X$  - Растојание на осовината на вртење или местото на прицврстување за багерот од вертикалната (централна) оска на багерот;
- $Y_k$  - Висина на осовината на вртење (прицврстување) на стрелата од етажот на стоење на багерот;
- $H_{r(g)}$  - Максимална висина на подигање на роторот;
- $H_{d(max)}$  - Максимална длабочина на копање;
- $R_{k(g)}$  - Радиус на копање на багерот со максимална висина на подигање на роторот  $H_{r(g)}$  (во горниот слој на блокот);
- $d$  - Надворешно растојание на гасениците од надолжната оска на багерот;
- $g$  - Надворешно растојание на гасениците од попречната (централна) оска на багерот;
- $\pm\delta$  - Агли на наклонот на стрелата (носачот на роторот) максимален  $\delta_{max}$ ; нагоре (+); надолу (-);
- $\Theta_{l, d}$  - Агли на допирањето на роторот со етажната косина (l) лев, (d) десен;
- $\pm\psi$  - Агли на вртење на стрелата, (+) во правец на вртење на стрелките на часовникот, (-) спротивно од вртењето на стрелките на часовникот;
- $\pm\lambda$  - „Мртов“ агол на вртење на стрелата (за непотполно обртни багери), кај асиметричен распоред на гасениците мртвиот агол е од страната на втората група на гасеници, а кај симетричен распоред од десната страна;
- $L_i$  - Должина на истоварната конзола;
- $\pm\delta_{ist}$  - Агли на наклонот на истоварната конзола, максимален  $\delta_{i(max)}$ ; нагоре (+), надолу(-);

- $h_i$  - Висина на истресување на ископаната маса;  
 $\gamma$  - Агли на вртење на истоварната конзола.



**Слика 3.** Работни димензии на роторен багер без извлекување на стрелата

**Figure 2.** Working dimensions, Roto excavator without mast extracting

Стрелата на роторот во однос на ротационата платформа има еден степен на слобода на движење, но бидејќи платформата се врти може да се

смета дека стрелата која го носи роторот има два степена на слобода на движење, по хоризонтала и по вертикала.

Радиусот на копање е функција зависна од должината на стрелата ( $L_k$ ), растојанието од точката на прицврстување на стрелата до централната односно вертикалната оска на багерот ( $X$ ) и аголот на наклон на стрелата ( $\delta$ ) и се пресметува според следнава формула:

$$R_k = L_k \cos \delta + X$$

или преку висината на оската на роторот:

$$R_k = \sqrt{L_k^2 - (H_{r(i)} - Y_k)^2} + X$$

од овде следи:

$$R_{k(\max)} = L_k + X$$

$$R_{k(d)} = \sqrt{L_k^2 - (Y_k - r)^2} + X$$

Во литературата се доста чести пресметките на вистинскиот радиус на копање, мерен по работ на забите на корпите на роторот. Во таков случај зависностите остануваат исти, но наместо  $X$  се заменува  $M = X + r$ .

Наклонот на стрелата се пресметува како агол на подигање ( $+\delta$ ) или како агол на спуштање на стрелата ( $-\delta$ ). Тој е во функција од висината на копањето ( $H_{r(i)}$ ) и се пресметува според формулата:

$$\delta = \arcsin \frac{H_{r(i)} - Y_k}{L_k}$$

Граничните агли на наклонот на стрелата одговараат на максималното подигање и спуштање на стрелата и се пресметуваат според формулите:

$$+\delta_{\max} = \arcsin \frac{H_{r(g)} - Y_k}{L_k}$$

или преку максималната висина на копање  $H_{(\max)}$ :

$$+\delta_{\max} = \arcsin \frac{H_{(\max)} - (0.2D + Y_k)}{L_k}$$

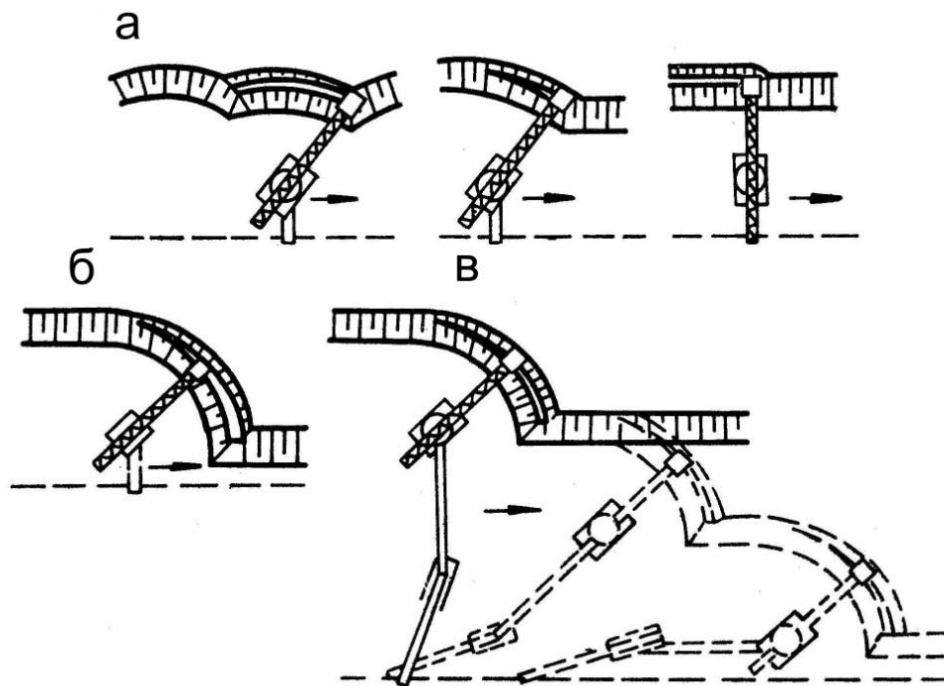
$$-\delta_{\max} = \arcsin \frac{H_{d(\max)} + Y_k - r}{L_k}$$

## 2.1. Зависност на параметрите на ископот од работните димензии на роторниот багер (геометрија на ископот)

Роторен багер може да работи во фронт, блок, широк блок (панел) и усек. Нормална работа на роторен багер се смета работа во блок.

Фронталниот ископ (слика 4а) се користи за селективно копање, а може да биде со вртење на двете страни, со вртење на една страна и без вртење кај ротациони багери од постаро производство кои немаат ротациона платформа или со транспорт на багерот со шини.

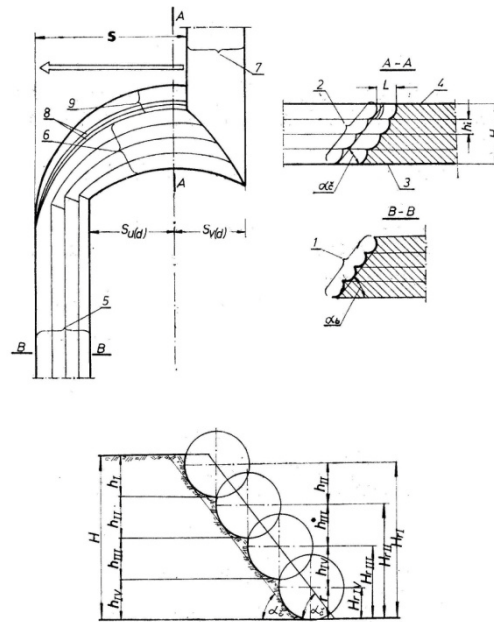
Широкиот блок (слика 4в) е резултат на усовршување на технологијата на копање, а се изведува со помош на самоходна претоварна лента (bandwagen), така што се копаат неколку нормални зафати (блокови) без поместување на транспортната лента.



**Слика 4.** Облици на ископ на роторен багер

**Figure 4.** Forms of excavation, roto excavator

Блокот (слика 4б) е вообичаен тип на копање на роторен багер со следниве параметри: висина ( $H$ ), ширина ( $S$ ), висина на слојот ( $h$ ), агол на наклонот на страничната косина ( $\alpha_b$ ), агол на наклонот на фронталната косина ( $\alpha_f$ ), агол на вртење на стрелата на роторот  $\beta$  ( $\beta = \beta_u + \beta_v$ ), длабочина на блокот во еден циклус на ископ.



**Слика 5.** Елементи на блокот на роторен багер

**Figure 5.** Elements of block of roto excavator

1. Профил на страничната косина;
2. Профил на фронталната косина;
3. Работно ниво на багерот;
4. Горен раб на блокот;
5. Странична внатрешна косина;
6. Фронтална косина;
- 7 Странична косина;
8. Резови во слој;
9. Длабочина на блокот во еден циклус на копање.

Максималната висина на блокот е одредена со максималната висина на подигање на роторот  $H_r$ , а се пресметува според формулата:

$$H_{max} = H_{r(g)} + 0,2D$$

Блокот по висина се дели на  $n$  слоеви кои сукцесивно се ископуваат (вертикални резови) озгора-надолу.

Висината на слоевите ( $h_i$ ) зависи од пречникот на роторот, а се одбира во границите:

$$0,5D \leq h_i \leq 0,7D$$

$$r \leq h_i \leq 1,4r$$

Висината на одделните слоеви на копање ( $h_i$ ) е разликата во висини помеѓу две положби на оската на роторот при копање, за горниот слој важи:

$$h_g = H - H_{r(g)} + r$$

за  $i > 1$ :

$$h_i = H_{r(i-1)} - H_{r(i)}$$

За најнискиот слој, кога важи  $H_{r(d)} = r$ :

$$h_d = H_{r(n-1)} - r$$

Висината на оската на роторот при копање на одделните слоеви се пресметува:

за горниот слој

$$H_{r(g)} = H - h_g + r$$

за  $i > 1$ :

$$H_{r(i)} = H - \sum_{i=1}^n h_i + r$$

за најнискиот слој

$$H_{r(d)} = r$$

При поделба на блоковите на слоеви со еднаква висина важи:

$$h = \frac{H}{n}$$

$$H_{r(i)} = (n - i)h + r$$

Ширината на блокот зависи од параметрите на багерот, висината на блокот и аголот на наклон на страничната косина и е одредена од:

- растојанието на горниот раб на внатрешната странична косина до осовината на багерот, односно со внатрешната ширина на блокот;
- растојанието на долниот раб на надворешната странична косина од оската на багерот, односно од надворешната долна ширина на блокот

$$S_{v(d)} = R_{k(d)} \sin \beta_{v(d)}$$

Вкупната ширина на блокот на роторен багер е збир од внатрешната и надворешната ширина, мерени на исто ниво:

$$S = S_{u(g)} + S_{v(g)}$$

$$S = S_{u(d)} + S_{v(d)}$$

Внатрешната ширина на блокот во однос на горниот раб на првиот слој:

$$S_{u(g)} = R_{k(g)} \sin \beta_{u(g)}$$

Максимална внатрешна ширина на блокот се добива при  $\beta_{u(g)} = 90^0$ :

$$S_{u(g)} = R_{k(g)}$$

Надворешната ширина на блокот во однос на горниот раб на првиот слој:

$$S_{v(g)} = S_{v(d)} - H \cot \alpha_b$$

Врз основа на тоа вкупната ширина на блокот може да се запише како:

$$S = R_{k(g)} \sin \beta_{u(g)} + R_{k(d)} \sin \beta_{v(d)} - H \cot \alpha_b$$

па така за максималната ширина на блокот добиваме:

$$S_{max} = R_{k(g)} + R_{k(d)} \sin \beta_{v(d)} - H \cot \alpha_b$$



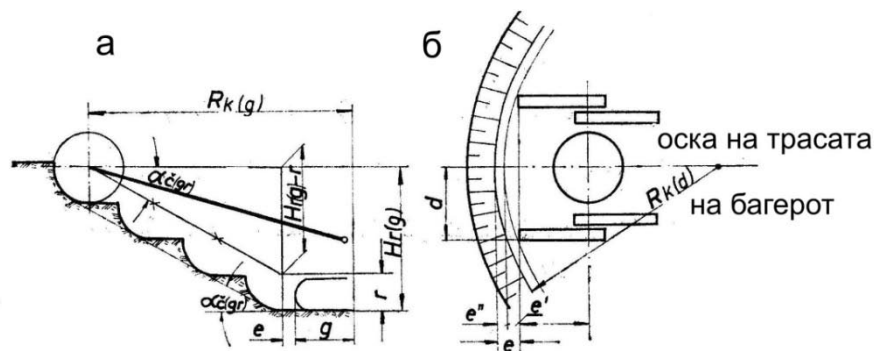
**Слика 6.** Работа на багерот CPC - 2000

**Figure 6.** Roto Excavator Srs-2000

Обработката на фронталната косина на блокот кај багер без телескопска стрела се врши со приближување на багерот за секој рез. Поради ваквата технологија на работа, а во зависност од работните (линеарните) димензии на багерот, за секој багер се пресметуваат минимални агли на фронталната и страничната косина на блокот, под кои при дадена висина не може понатаму да се копа. Во случај на потреба од поблаги косини се намалува висината на блокот или багерот се заменува со нов, со поголеми линеарни димензии или со

багер со телескопска стрела, кој може да обработува многу благи косини на блокот. Всушност, тоа е предноста на багерот со телескопска стрела во однос на багер без извлекување на стрелата, во услови на геомеханички слаби карпи на ископот.

Граничниот агол на наклонот на фронталната косина на блокот, обработен со багер кој е без извлекување на стрелата, претставува наклон при кој роторот на багерот го достигнува највисокиот слој, а со гасениците приоѓа до работ на долниот раб на фронталната косина:



**Слика 7.** Граничен агол на наклонот на фронталната косина на блокот и ограничувања на приодот на багерот кон фронталната косина

**Figure 7.** Border angle of inclination of the frontal slope of the block and limitations of the approach taken to excavator to the frontal slope

$$\alpha_{c(gr)} = \arctan \frac{H_{r(g)} - r}{R_{k(g)} - (g + e)}$$

$$\text{каде } e = e' + e'' \quad e' = R_{k(d)} - e'' - \sqrt{(R_{k(d)} - e'')^2 - d^2}$$

каде  $e''$  е усвоено безбедносно растојание од долниот раб на фронталната косина поради можности од одрони или рушење.

Минималниот агол на наклон на фронталната косина на блокот секогаш е нешто поголем од граничниот, бидејќи со длабочината на блокот мора да се обезбеди што помал коефициент на ископ на багерот. За зададена длабочина на блокот, минималниот агол на наклонот на фронталната косина е:



$$\alpha_{c(min)} = \arctan \frac{H_{r(g)} - r}{R_{k(g)} - (g + e + L)}$$

Минималната длабочина на блокот (должина на блокот во еден циклус на ископ) се наоѓа помеѓу:

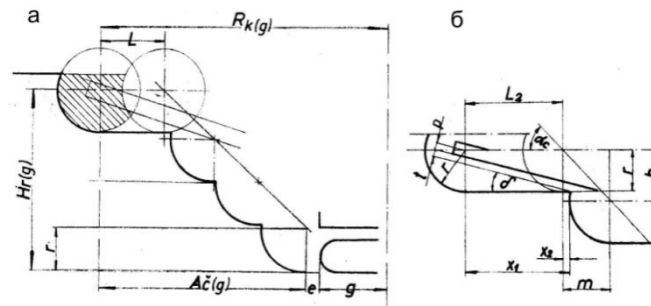
$$L_{max} = \min(L_1; L_2)$$

каде  $L_1$  е длабочината на блокот ограничена со приодот на багерот на долниот раб на фронталната косина на блокот:

$$L_1 = A_{c(g)} - (H_{r(g)} - r) \cot \alpha_c$$

$L_2$  е длабочината на блокот ограничена со приближувањето на стрелата на роторот кон понискиот неоткопан слој.

$$L_2 = X_1 - X_2$$



**Слика 8.** Максимална длабочина на блокот во слој, ограничена со приодот на багерот кон долниот раб на косината на блокот (а) и со приближувањето на стрелата кон понискиот неоткопан слој (б)

**Figure 8.** Maximum depth in the block layer, limited with approach to of excavator to the bottom edge of the slope of the block (a) and approaching of the mast to the lower not excavated layer (b)

$$X_1 = \frac{r \cos \delta - (p + t)}{\sin \delta}$$

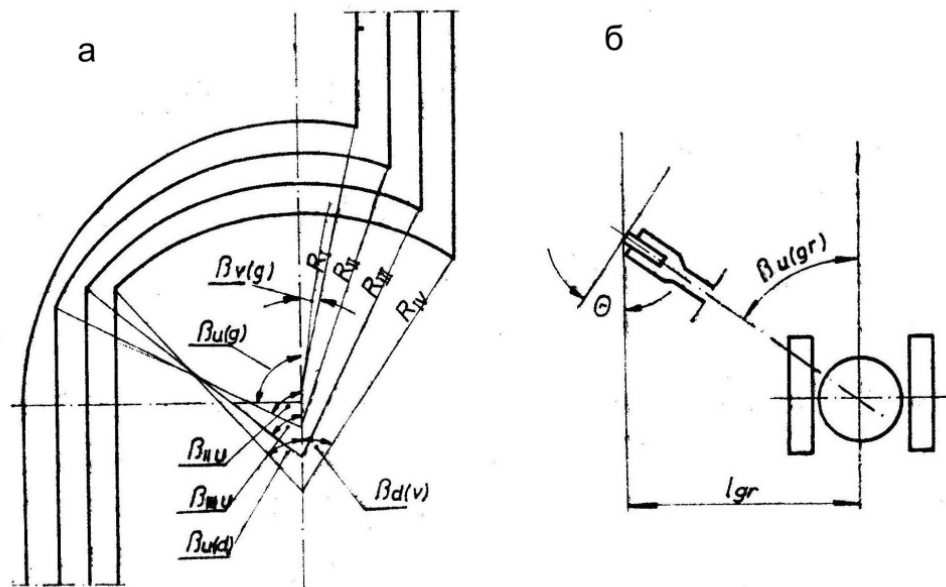
$$X_2 = h_{II} \cot \alpha_c - \sqrt{h_{II}(2r - h_{II})}$$

$$L_2 = \frac{r \cos \delta - (p + t)}{\sin \delta} - h_{II} \cot \alpha_c + \sqrt{h_{II}(2r - h_{II})}$$

каде што  $p$  е растојанието на долниот дел од конструкцијата на стрелата до работ на понискиот слој,  $h_{II}$  е висината на вториот слој или висинската разлика помеѓу две последователни положби на оската на роторот.

Обработката на страничната косина на блокот со багер без телескопска стрела се врши така што за секој понизок слој се намалува внатрешниот агол на вртење на стрелата со повлекување на багерот наназад.

Граничниот агол на вртење на стрелата  $\beta_{u(gp)}$  при кој конструкцијата на роторот, мотор редуктор и сл. допира до страничната косина е лимитирачки параметар во пресметката на блокот, а се пресметува како комплемент од таканаречениот „агол на допир на роторот“ со страничната косина на блокот (слика 9а):  $\beta_{u(g)} = 90 - \theta$



**Слика 9.** Профилирање на страничната косина на блокот со промена на аголот на вртење на стрелата (а) и граничниот агол на вртење на стрелата (б)

Figure 9. Profiling of the side slope of the block by changing the angle of rotation of the mast (a) and the limit angle of rotation of the mast (b)

Аголот на наклонот на страничната косина се пресметува со:

$$\alpha_b = \arctan \frac{H_{r(g)} - r}{l_g - l_d}$$

каде што:

$l_g$  – хоризонтално растојание на оската на трасата на багерот и оската на роторот во крајна положба на горниот слој:

$$l_g = R_{k(g)} \sin \beta_{u(g)}$$

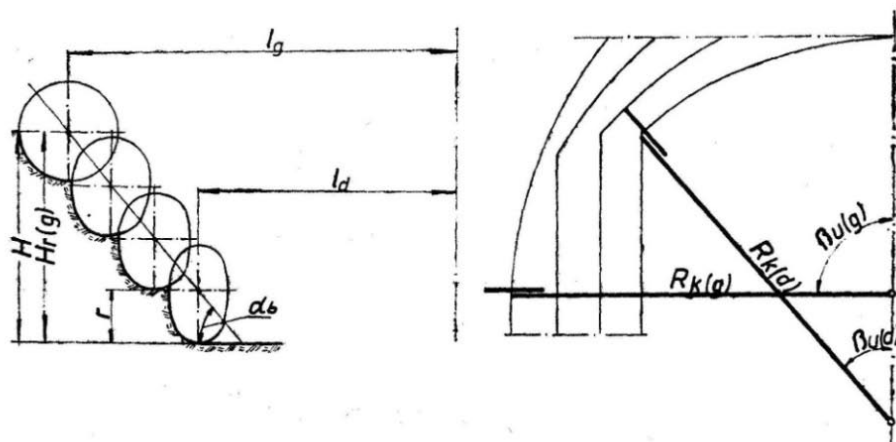
$l_d$  - хоризонтално растојание на оската на трасата на багерот до долниот раб на страничната косина:

$$l_d = R_{k(d)} \sin \beta_{u(d)}$$

каде што:

$\beta_{u(g)}$  – максимален внатрешен агол на вртење на стрелата во горниот слој;

$\beta_{u(d)}$  - максимален внатрешен агол на вртење на стрелата во долниот слој.



**Слика 10.** Обработка на страничната косина на блокот со промена на аголот на вртење на стрелата

**Figure 10.** Processing the side slope of the block by changing the rotation angle of the mast

Областа на можните наклони на страничната косина на блокот е ограничена со минималниот, односно со граничниот агол на страничната косина. Граничниот агол на наклонот на страничната косина се добива со

поставување на оската на трасата на багерот на минимално растојание ( $l_{gr}$ ) од долниот раб на косината при внатрешен агол на вртење на стрелата во горниот појас од  $90^0$ .

$$\alpha_{b(gr)} = \arctan \frac{H_{r(g)} - r}{R_{k(g)} - l_{gr}}$$

$$l_{gr} = R_{k(d)} \sin \beta_{u(gr)}$$

За даден агол на допир на роторот со страничната косина  $\Theta$ , кој се одредува како:

$$\beta_{u(gr)} = 90 - \theta$$

граничниот агол на наклонот на страничната косина е функција од висината на блокот.

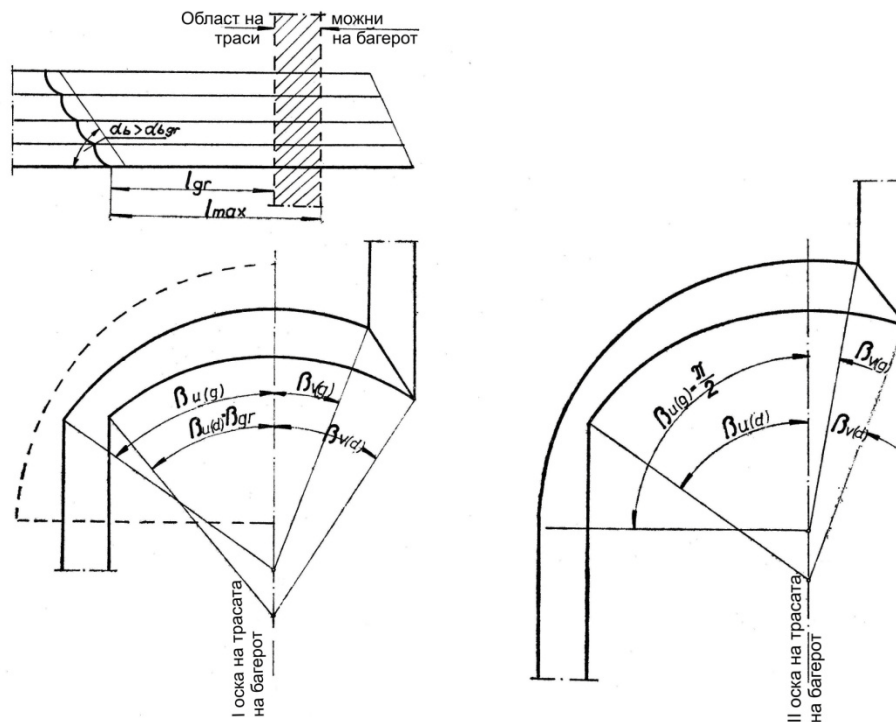
За дадена висина на блокот, аголот на наклонот на страничната косина се усвојува како  $\alpha_b > \alpha_{b(gr)}$  или трасата на багерот се избира во интервалот  $l_{gr} \div l_{max}$ , како што е прикажано на слика 11.

$$l_{max} = R_{k(g)} - (H_{r(g)} - r) \cot \alpha_b$$

Минималниот агол на страничната косина (при  $l_{gr} < l < l_{max}$ ) изнесува:

$$\alpha_{b(min)} = \arctan \frac{H_{r(g)} - r}{R_{k(g)} - l}$$

За  $l = l_{gr}$ ,  $\alpha_{b(min)} = \alpha_{b(gr)}$  и за  $l > l_{gr}$ ,  $\alpha_{b(min)} > \alpha_{b(gr)}$



**Слика 11.** Влијание на положбата на оската на трасата на аглите на вртење на стрелата

**Figure 11.** Influence of the position route axis to the rotation angles of the mast

Влијанието на оската на трасата на багерот за случај кога  $\alpha_{b(\min)} > \alpha_{b(gr)}$  врз параметрите, односно геометријата на копање може да се види преку пресметките за нејзините две крајни положби:

- При минимално растојание на оската на трасата на багерот од страничната косина, т.е. за  $l = l_{max}$ , внатрешниот агол на вртење на стрелата е лимитиран со граничниот агол  $\beta_{u(d)} = \beta_{u(gr)}$ , од што следи:

$$\beta_{u(g)} = \arcsin \frac{l_{gr} + (H_{gr} - r) \cot \alpha_b}{R_{k(g)}}$$

при што  $\beta_{u(g)} < \frac{\pi}{2}$

- При максимално растојание на оската на трасата на багерот од страничната косина, т.е. за  $l = l_{max}$  внатрешниот агол на вртење на стрелата во горниот слој е  $\beta_{u(g)} = \frac{\pi}{2}$  и затоа:

$$\beta_{u(d)} = \arcsin \frac{R_{k(g)} - (H_{gr} - r) \cot \alpha_b}{R_{k(d)}}$$

при што  $\beta_{u(d)} > \beta_{u(gr)}$

При проектирање на ископот (блокот) за роторен багер треба да се внимава на следново:

1. Пожелната максимална ширина на блокот за багери без извлекување на стрелата е одредена со внатрешниот агол на вртење на стрелата кој изнесува  $\beta_{u(g)} = 80^0$ , што е условено со намалување на полнењето на корпите надвор од зоната на регулација ( $60-65^0$ ), поради појава на срповидни резови.
2. При поделбата на блоковите на слоеви треба да се тежнее кон максимална висина, односно намалување на бројот на слоеви.
3. Намалувањето на ширината на блокот под максималната, посебно при висина на слоевите блиска на максималната висина на копање со багерот е можно, главно, на сметка на намалувањето на внатрешниот агол на вртење на стрелата  $\beta_u$ . Со намалувањето на овој агол се намалува и влијанието на срповидните резови на капацитетот на багерот.

Во зависност од аглите на вртење на стрелата се можни четири облици на резови на појасите во блокот.

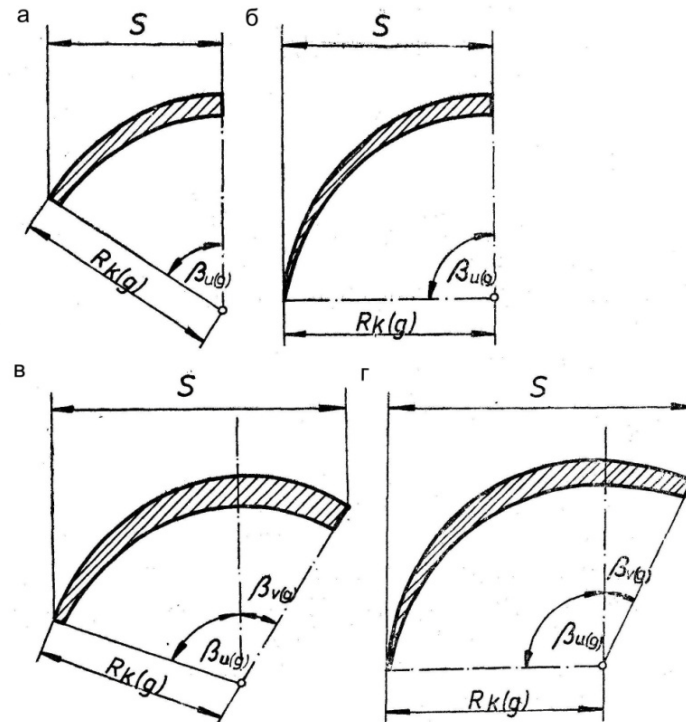
а – оската на трасата се наоѓа во правец на надворешниот раб на блокот

$$\beta_{u(g)} < 90^0; \beta_{v(g)} = 0^0$$

б – како на *слика 11а* со  $\beta_{u(g)} = 0^0$

в – оската на трасата на багерот е внатре во блокот  $\beta_{u(g)} < 90^0; \beta_{v(g)} > 0^0$

г – како на *слика 12в* со  $\beta_{u(g)} = 90^0$



**Слика 12.** Облици на резови на појасите во блокот, во зависност од аглиите на вртење на стрелата

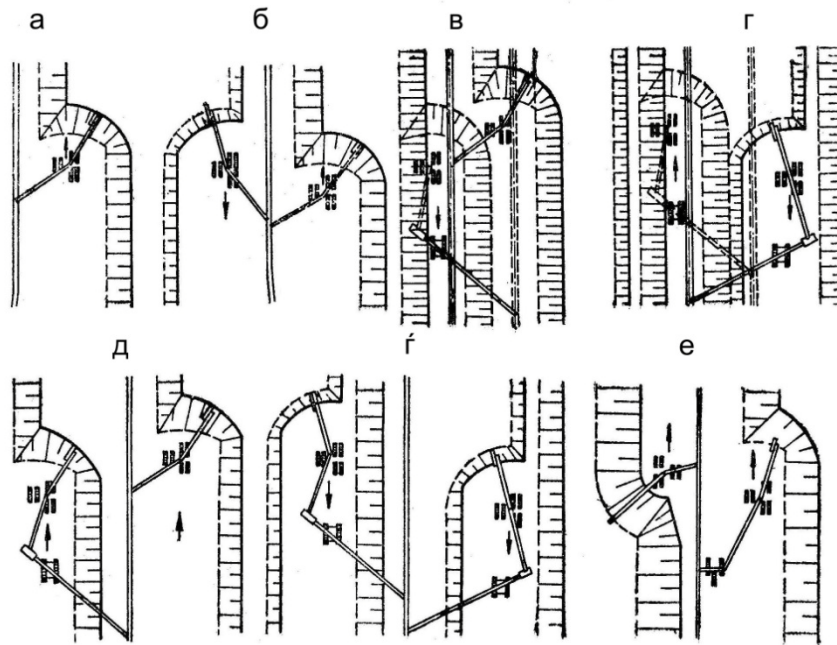
**Figure 12.** Forms of cuts in the block streams, depending of the angle of rotation of the mast

Основните шеми на работа на роторните багери во страничен ископ може да се класифицираат на следниов начин:

Шема 1- *слика 13а* претставува работа на багер со горно копање на слој.

Шема 2 - *слика 13б* претставува работа на роторен багер со горно и долно копање на два меѓуслоја. Обично се врши откопување на два висински и два длабински блока, со што се скратува непродуктивното време за преуредување на багерот за длабинска работа.

Шема 3 - *слика 13в* претставува работа на еден роторен багер со горно копање на два меѓуслоја и утовар на еден. Оваа шема е рационална, ако специфичниот капацитет на багерот (однос на годишниот капацитет и висина на копање) одговара на потребниот специфичен капацитет на слојот (однос на годишниот волумен на работи и висината на слојот) и ако трошоците на преминување се компензираат со избор само на еден багер.



**Слика 13.** Шеми на работа на роторен багер по слоеви

**Figure 13.** Schemes of work of roto excavator by layers

Шема 4 - *слика 13а* претставува работа на еден роторен багер со горно и долно копање на два меѓуслоја и утовар на еден. Во поглед на рационалноста на нејзината примена важи истата забелешка како во шема 3.

Шема 5 и 6 - *слика 13д - ф* претставува работа на два роторни багера на два слоја или меѓуслоја и истовар на еден.

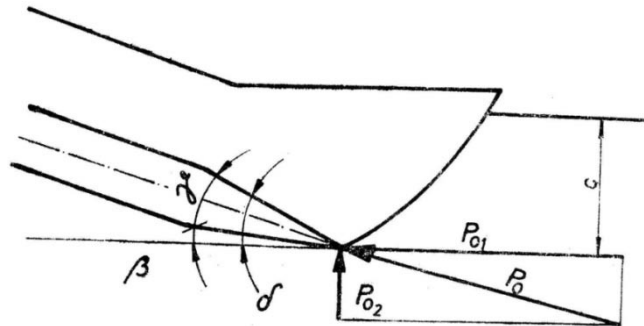
Шема 7 - *слика 13е* претставува комбинација на работа на роторен и багер ведраш на два слоја и утовар на еден. Оваа шема понекогаш овозможува обработка на јаловина од 50-80 m на еден транспортен хоризонт, без дополнителни самоодни транспортни ленти – претоварувачи (bandwagen).

Изборот на шема на работа на роторните багери зависи од низа фактори: потребниот капацитет, моќност на јаловината или суровината, должина на фронтот на работите, хидрогеолошките услови, лежиштето на суровината, конфигурацијата и сл.



## 2.2. Зависност на параметрите на резот и капацитетот на роторниот багер (геометрија на копање)

При копање со роторен багер, како реакција на силата на копање се јавува сила на отпор на копањето  $P_0$ , која се разложува на тангенцијална  $P_{01}$  и нормална компонента  $P_{02}$ . Изведени се формули за теориски објаснувања на пресметката на отпорот на копање чие поедноставување го извел Домбровски, што е прифатено во рударската теорија и пракса.



**Слика 14.** Разложување на силата на отпорот на копање на тангенцијална  $P_{01}$  и нормална  $P_{02}$  компонента

**Figure 14.** Breakdown of the resistance force of digging to tangential  $P_{01}$  and normal component  $P_{02}$

Тангенцијалниот отпор на копањето се изразува како специфичен отпор (коефициент) на копање, а се пресметува по формулата:

$$k_F = \frac{P_{01}}{bc} = \frac{P_{01}}{F}, \text{ N/cm}^2$$

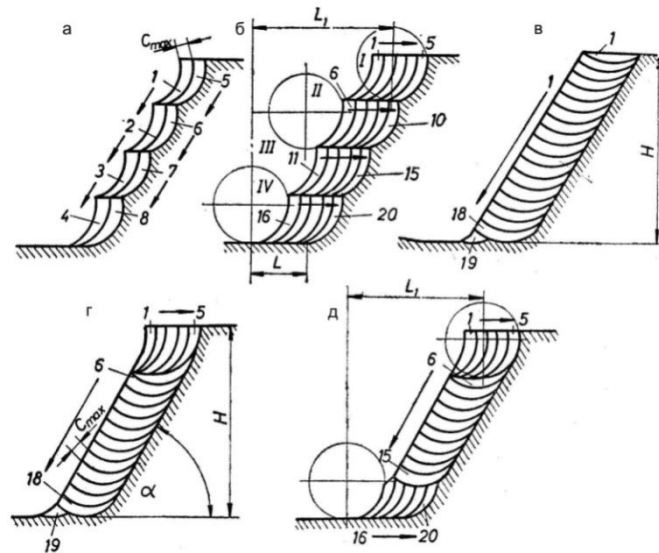
Според истата формула се пресметува и специфичната сила на копање со роторен багер, вметнувајќи го и бројниот  $k$  на тангенцијалната сила на копање, која може да ја развие роторниот багер, а која се пресметува преку инсталираната моќност на погонот на роторот, во именителот на вкупната површина на сите попречни пресеци на засеците.

Специфичниот отпор и силата на копање се изразуваат во  $\text{N/cm}$ , што всушност е отпор на режење и се пресметуваат како однос на тангенцијалната сила (отпор) на копање и активна должина на работ на сечење на корпата според формулата:

$$k_L = \frac{P_{01}}{l}, \text{ N/cm}$$

каде што  $l$  е активната должина на работ на режење на корпата (слика 14).

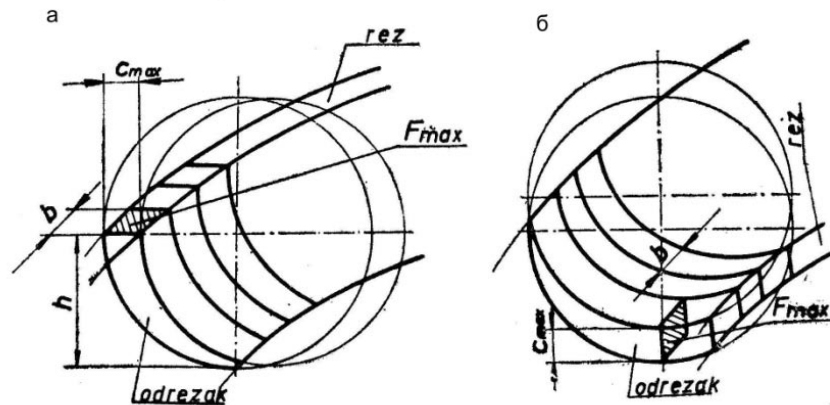
Копањето со роторен багер во блок се врши со вертикални едноредни и повеќередни отсеци (слика 15а-б), хоризонтални отсеци (слика 15в) и комбинирани отсеци (слика 15г-д).



**Слика 15.** Шеми на копање со роторен багер во блок

**Figure 15.** Digging shemes with an roto excavator in block

При максимална висина на копање со багер  $H_{kmax}$ , најголемата висина на блокот според шемите а, б, г и д ќе биде еднаква на  $H_{kmax}$ , а по шемата в ќе биде помала за  $0,7D$ , каде што  $D$  е пречник на роторот. Сметајќи дека во просек  $D=0,285 H_{kmax}$ , губитокот на висина според шемата в е најмалку 20%. Шемата а бара најголем број на преместувања на багерот, а шемата в најмал. Меѓутоа, шемите в и г бараат посебно планирање на гребенот 19 (слика 15в). Шемата д ги обединува сите предности на претходните шеми.



**Слика 16.** Изглед и положба на вертикалните (а) и хоризонталните (б) одрезоци во еден рез

**Figure 16.** Appearance and position of the vertical and horizontal snippets in one section

Со вртење околу својата осовина со брзина  $V_r$  роторот на багерот со секоја корпа копа по еден одрезок во резот (слика 16), така што во правец нормален на правецот на ротацијата се врти и стрелата со брзина  $V_k$ , овозможувајќи зафаќање на следен одрезок со секоја следна корпа. Со тоа на роторот му е овозможено да копа низа одрезоци што се нарекува *појас*.

Со вртење на стрелата на багерот, во блокот се создава срповиден рез по површина. Срповидноста на резот е резултат на константниот радиус на вртење на стрелата на багерот.

Теоретските параметри на одрезокот произлегуваат од геометријата на копањето, која се формира со роторот и движењето на стрелата. Во која било точка на работ на режење на корпата (која копа еден одрезок), при свртување на роторот за агол  $\varphi$  се добиваат два слични триаголника од кои произлегува:

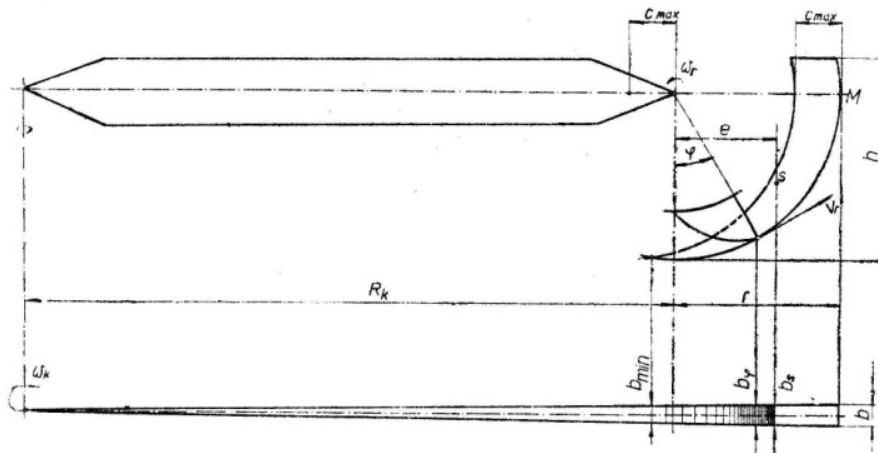
$$\frac{V_{k(\varphi)}}{V_r} = \frac{b_\varphi}{rv}$$

каде што:

$V_{k(\varphi)}$  - брзина на вртење на стрелата во хоризонталната рамнина на резниот раб на корпата со агол на ротација  $\varphi$

$V_r$  - брзина на вртење на роторот m/min

- $b_\varphi$  - моменталната ширина на одрезокот која одговара на точката со агол на вртење  $\varphi$
- $r$  - радиус на роторот  $m$
- $v$  - агол помеѓу две корпи, мерен во радијани
- $rv$  - должина на лакот помеѓу две корпи, мерен по периметарот на роторот,  $m$ .



**Слика 17.** Зависност на ширината на одрезокот и брзината на вртење на стрелата од нејзината должина

**Figure 17.** Depending between the width of the snippet and the speed of the mast by its length

Кружната брзина на вртење на работ за режење на корпата и моменталната ширина на одрезокот се менуваат со промена на аголот на ротација на роторот. Со зголемување на оддалеченоста од осовината на ротација на багерот, тие се зголемуваат според формулите:

$$v_{k(\varphi)} = v_k \frac{R_k + r \sin \varphi}{R_k + r}, \quad m/min$$

$$b_\varphi = b \frac{R_k + r \sin \varphi}{R_k + r}$$

каде што:

- $v_k$  - брзина на вртење на стрелата, земена во точката М (слика17)
- $b$  - ширина на одрезокот по режачкиот раб во точката М
- $R_k$  - радиус на копање
- $r$  - радиус на роторот

Најголема брзина на вртење на стрелата по режачкиот раб на корпата и најголема ширина на одрезокот во еден вертикален пресек се постигнува во точката М, која има најголемо растојание од оската на багерот во меридијанската рамнина, од што следи првата основна равенка на роторниот багер:

$$\frac{V_k}{V_r} = \frac{b}{rv} = \frac{bz}{2\pi r}$$

каде што:

$z$  - број на корпи на роторот

$rv$  - должина на лакот помеѓу корпите, m

Бројот на истресувања или празнења на корпите зависи од бројот на вртежи на роторот и бројот на корпите:

$$n = n_0 z$$

Општопознатата формула за пресметка на техничкиот капацитет ја претставува втората основна равенка на роторниот багер:

$$Q_{th} = 60 E_r n \frac{k_{pu}}{k_r} = 60 E_r n_0 z \frac{k_{pu}}{k_r}, \quad m^3/h$$

каде што:

$E_r$  - волумен на корпата,  $m^3$

$n$  - број на празнења

$K_b = \frac{k_{pu}}{k_r}$  - коефициент на копање

$k_{pu}$  - коефициент на полнење на корпите

$k_r$  - коефициент на растреситост

$n_0$  - број на вртежи на роторот во минута

$z$  - број на корпи на роторот

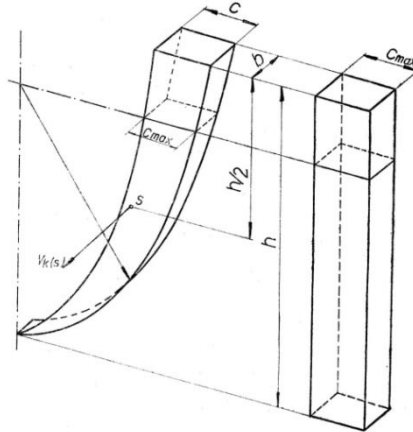
Бројот на вртежи на роторот може да се изрази и како функција од брзината и неговиот радиус:

$$n_0 = \frac{v_r}{2\pi r}$$

Врз основа на тоа се добива бројот на празнења:  $n = n_0 z = \frac{v_r}{2\pi r} z$ , па втората основна равенка на роторен багер може да се претстави на следниов начин:

$$Q_{th} = 60 \frac{E_r v_r z}{2\pi r} k_b = 30 \frac{E_r v_r z}{\pi r} k_b, \quad m^3/h$$

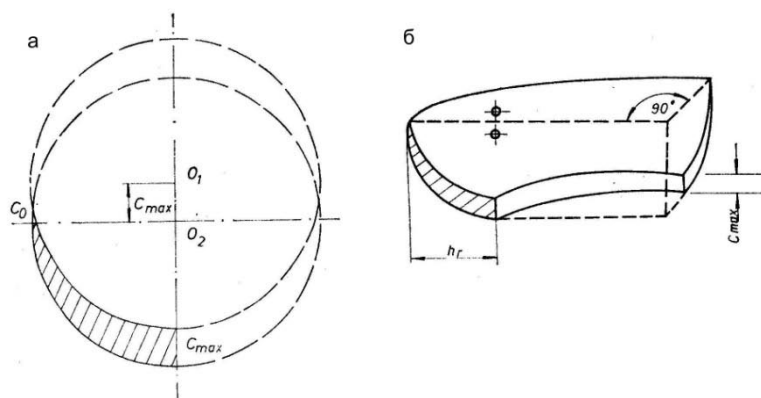
Срповидната странична површина на одрезокот (слика 18) може да се замени со површината на правоаголникот ( $C_{max} h$ ), па и срповидниот одрезок се заменува со призма ( $b_s C_{max} h$ ). Волуменот на ископаниот материјал во една корпа е производ од волуменот на одрезокот призма ( $b_s C h$ ) и коефициентот на копање  $k_b$  и претставува трета основна равенка на роторниот багер.



**Слика 18.** Трансформација на срповидниот одрезок на роторниот багер во призма

**Figure 18.** Transformation of sickle snippet of the roto excavator in to prism

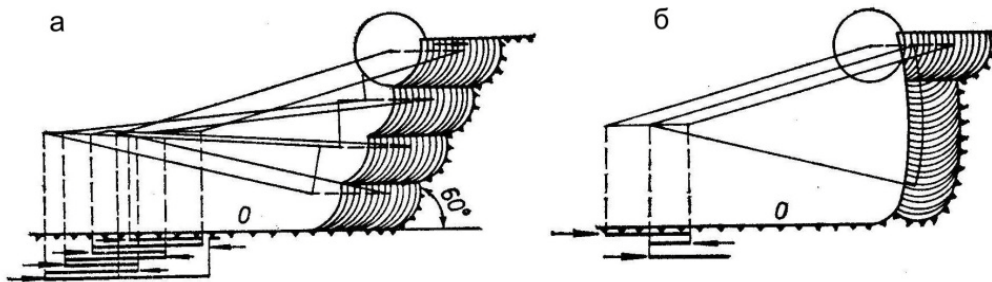
Копањето со хоризонтални одрезоци се врши на тој начин што осовината на роторот се поместува по вертикална рамнина од точката  $O_1$  во точката  $O_2$  за дебелината на одрезокот  $C_{max}$ . За разлика од вертикалните одрезоци, овде дебелината на одрезокот е најголема на почетокот од копањето, кога корпата навлегува во одрезокот, а најмала на крајот кога корпата излегува од него.



**Слика 19.** Параметри на хоризонтален одрезок на роторен багер

**Figure 19.** Parameters of the horizontal snippet of roto excavator

При копање со хоризонтални одрезоци нема поделба на меѓуслоевеи, бидејќи целиот слој се копа со хоризонтални одрезоци. Изгледот на резовите е ист како и кај вертикалните одрезоци, меѓутоа голема е разликата во бројот и должината на поместувањето на багерот, што најдобро го илустрира разликата во време потрошено на помошни операции.



**Слика 20.** Број и должина на поместувања на багерот при копање со повеќередни (а) и комбинирани одрезоци (б)

**Figure 20.** Number and length of shifts in the excavator digging the multiple rows snippets (a) and combined snippets (b)

Волуменот на хоризонталниот срповиден рез (слика 18б), со висина  $h_r$  и ширина на блокот  $S$ , се пресметува според формулата:

$$V_{s(\beta)} = ch_r S, \text{ m}^3$$

Дебелината на одрезокот  $c_\beta$  со вртење на багерот налево или надесно се намалува и за агол  $\beta = 90^\circ$  се добива дебелина  $c = 0$ . Помеѓу дебелината на одрезокот  $c$  и висината  $h_r$  постои следниов однос:

$$c = \sqrt{r^2 - (r - h_r)^2} - \sqrt{r_t^2 - (r - h_r)^2}, \text{ m}$$

каде што:

$r$  - дијаметар на роторот мерен по ножевите на корпата, m

$r_t$  - дијаметар на роторот без корпи, m.

За оваа зависност постои услов  $h_r < r > h_E$ ,  $h_E$  ширината на страницата на ножот на корпата, како и при вертикален рез, што значи дека и дебелината на одрезокот е ограничена:  $c_{max} \leq h_E$ , како и при копање со вертикални одрезоци.

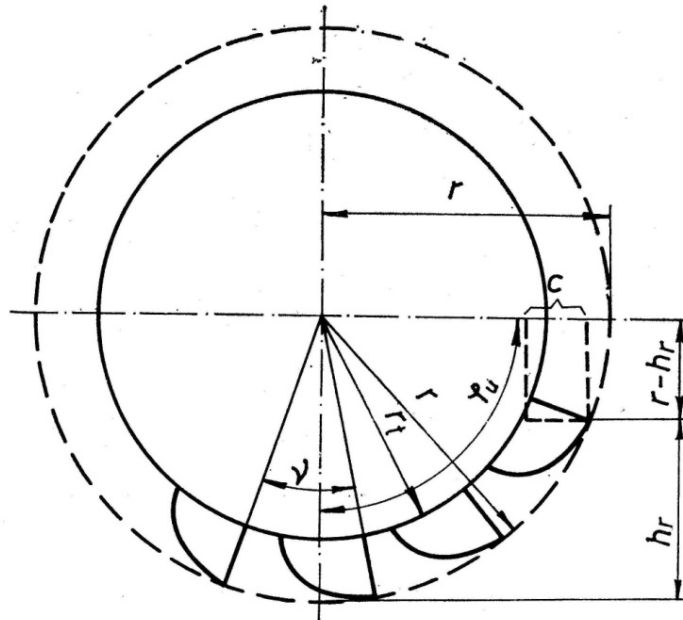
$$S = S_u + S_v, \quad m$$

$$S_u = R_k \sin \beta_u, \quad m$$

$$S_v = R_k \sin \beta_v, \quad m$$

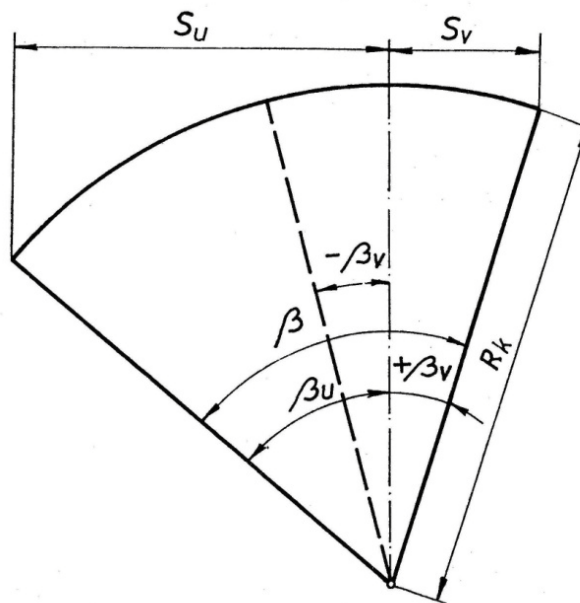
$$S = R_k (\sin \beta_u + \sin \beta_v), \quad m$$

каде што  $S_u$  е внатрешната ширина на блокот, а  $S_v$  е надворешната.



**Слика 21.** Димензии на роторот и хоризонталниот одрезок

**Figure 21.** Dimensions of the rotor and the horizontal snippet



**Слика 22.** Шема за пресметка на волуменот на резот (низа од одрезоци во блокот)

**Figure 22.** Scheme for calculating the volume of cut (through snippets of the bloc)



Сега волуменот на хоризонталниот срповиден рез може да се претстави на следниов начин:

$$V_{k(\beta)} = \left[ \sqrt{r^2 - (r - h_r)^2} - \sqrt{r_t^2 - (r - h_r)^2} \right] h_r R_k (\sin \beta_u + \sin \beta_v), \quad m^3$$

Капацитетот на багерот во хоризонтален рез се пресметува:

$$Q_r = \frac{V_{k(\beta)}}{t_0} 60, \quad m^3/h$$

каде што

$$t_0 - \text{време на вртење на багерот во еден рез или појас } t_0 = \frac{l_0}{v_k}$$

$$l_0 = \frac{\pi(\beta_{u(g)} + \beta_{v(g)})}{180} R_k$$

каде што

$l_0$  - должина на лакот на вртење во блокот (слика 22), m

$R_k$  - должина на стрелата, m

$v_k$  - брзина на вртење на стрелата, m/min

Формулата за капацитетот на багерот во хоризонтален рез може да се запише на следниов начин:

$$Q_r = \frac{60ch_r S v_k}{l_0}, \quad m^3/h \text{ или:}$$

$$Q_r = \frac{60 \cdot 180ch_r R_k (\sin \beta_u + \sin \beta_v) v_k}{\pi(\beta_u + \beta_v) R_k} = \frac{10800ch_r v_k (\sin \beta_u + \sin \beta_v)}{\pi(\beta_u + \beta_v)}, \quad m^3/h$$

На слика 11 се дадени четири можни варијанти на блокот, за кои горната формула може да се трансформира со испуштање на  $\beta_{v(g)}$  или со замена на  $\beta_{u(g)} = 90^\circ$ .

Напречниот пресек на одрезокот зависи од неговата моментална дебелина и ширина, земени според аголот на ротација на роторот:

$$F_\varphi = c_\varphi b_\varphi$$

Моменталната дебелина на вертикалниот одрезок се пресметува упросто според:  $c_\varphi = c_{max} \sin \varphi$ .

Вистинските димензии на одрезокот се разликуваат од теоретските поради вибрациите на роторот.

Моменталната ширина на одрезокот е исто така зависно променлива од аголот на вртење на роторот и максималната ширина на излезот на вертикалниот, односно на влезот од хоризонталниот одрезок и се пресметува според формулата:

$$b_{\varphi} = \frac{b(R_k + r \sin \varphi)}{R_k + r}$$

Висината на резот (одрезокот) зависи и од радиусот на роторот и од полниот агол на копање  $\varphi_u$ :  $h = (1 - \cos \varphi_u) r$ .

Формулата за пресметка на моменталниот попречен пресек на одрезокот може да се напише во следниов облик:

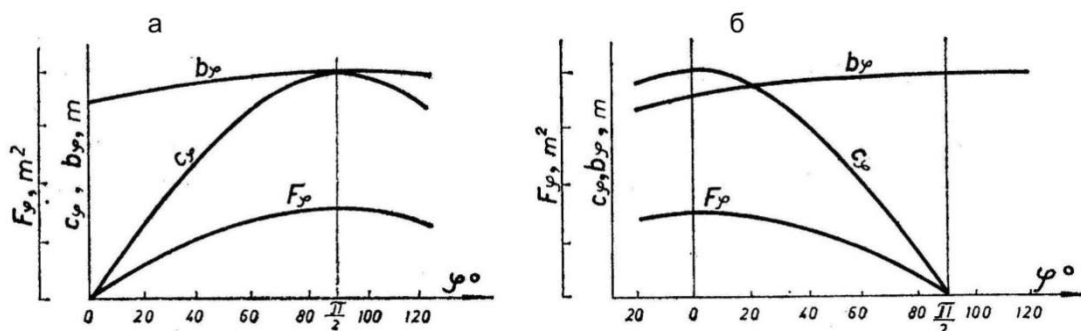
$$F_{\varphi} = c_{\max} b \frac{R_k + r \sin \varphi}{R_k + r} \sin \varphi, \text{ за вертикален одрезок и}$$

$$F_{\varphi} = c_{\max} b \frac{R_k + r \sin \varphi}{R_k + r} \cos \varphi, \text{ за хоризонтален одрезок}$$

Моменталниот максимален попречен пресек на вертикалниот одрезок е при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ , односно на висина  $h = r$ .

Аголот на максималниот попречен пресек на хоризонталниот одрезок е променлив и зависи од односот  $\frac{R_k}{r}$ . За нормален се смета дека е максимален при  $\varphi = 0$ .

Промените на димензиите на одрезокот  $c, b, F$  во функција од аголот се претставени на слика 23:



**Слика 23.** Промени на дебелината, ширината и попречниот пресек на вертикален (а) и хоризонтален (б) одрезок

**Figure 23.** Changes of thickness, width and cross section of vertical (a) and horizontal (b) snippet

### 2.3. Капацитети и коефициенти на искористеност на роторните багери (Класификација на капацитетот на багерот и фактори на влијание)

Капацитетите на багерот се дефинирани како теоретски, технички, откопни и експлоатациони. Редоследот на наведување на капацитетите е и редослед на нивната пресметка. Имено, секој следен капацитет, покрај претходните, опфаќа нова група на фактори (коефициенти на намалување на капацитетот) кои влијаат на него.

Факторите на влијание врз капацитетот на багерот може да се поделат во четири групи, кои се прикажани во *табела 1*.

1. Конструктивни фактори: дијаметар на роторот и должина на стрелата, волумен, број и конструкција на корпите, брзина на ротација на роторот, спуштање и подигање на стрелата, време на реверзија на вртењето на стрелата, тип и брзина на механизмот за транспорт на багерот, динамички карактеристики, долговечност, сигурност на основните делови. Во пресметките за капацитетите, конструктивните фактори непосредно го одредуваат теоретскиот капацитет, а посредно, преку технолошките и организационите фактори, влијаат и на откопниот и експлоатациониот капацитет на багерот.

Конструктивните фактори се еднозначни само во случај кога се диктирани типовите и моделите на багерот (постоечка механизација, преземена механизација или други причини за неможност на избор на багер). Инаку тие се условно повеќезначни, во рамки на сериските типови на багер, а можат да бидат и проектирани кога се работи за багер по специјална нарачка.

2. Природни или зададени фактори: специфичен отпор на копање, пукнатини во масивот или во карпата, растреситост при копањето, пластичност, лепливост, влажност, распарченост, кои главно се еднозначни.

Во пресметките за капацитетите, природните фактори непосредно го определуваат техничкиот капацитет (преку  $k_{pu}, k_r \cdot \eta_F$  и др.), а посредно влијаат на откопниот и експлоатациониот капацитет на багерот (комплексот).

3. Технолошки (проектирани) фактори се: геометрија на ископот и копањето (резот), односно степен на сличност на елементите на ископот и резот со параметрите на багерот, па затоа можеме да ги наречеме и фактори на системот на експлоатација.

Во пресметките за капацитетите, технолошките фактори непосредно го одредуваат откопниот капацитет (преку  $k_{ot}$  и др.), а посредно влијаат и на експлоатациониот капацитет на багерот или комплексот. По правило се повеќезначни, освен со објективни ограничувања.

4. Организациони (проектирани - изведени) фактори: организација на работата во површинскиот коп (број и време на работни смени во денот, месецот и годината), системот на експлоатација (должина и правци на напредување на фронтите, поделба по висина и др.), организација на транспортот, планирани застои и поправки и др. Технолошко - организационите застои (неусогласеност на единиците во комплексот, премин од слој во слој, засекување на нов блок и сл.) се вметнати исто така во организациони фактори, иако тие се и технолошки, па поради тоа се наречени организационо-технолошки.

Субјективните фактори, всушност, се организациони (подобро кажано неможност за добра организација на работата) и се опфатени со коефициентите на сигурност.

Климатските фактори исто така се опфаќаат со коефициентот на сигурност, односно искористеност на багерот, па затоа се дел од организационите фактори по наведената класификација во табела 1.

Издвојувањето на субјективните фактори како посебна група се нагласува, бидејќи научно е докажано нивното постепено елиминирање со текот на времето, ако се добро поставени мотивациите за работа (наградување според резултатите од работата, долгорочни стабилни норми и сл.).

**Табела 1.** Класификација на капацитетите на багерот и фактори на влијание

**Table 1.** Classification capacity of excavators and factors of influence

Фактори на влијание	I Конструктивни	II Природни	III Технолошки	IV Организациони
	Конструктивни и енергетски параметри на багерот	Физичко-механички својства на карпите	Параметри на копање и откоп	Застои, планирани, случајни, проектирани за конкретни услови
Проектирани (конструкциони) испитани и докажани параметри и коефициенти	Волумен на корпата $E_r = E_1 + 0,5E_2$	Коефициент на полнење на корпата со растресена маса $k_{pu}$	Параметри на копање и откоп	Коефициент на намалување на капацитетот поради техничко-технолошки застои (на крајот на фронтот, премин од слој во слој и сл.) $k_{s(th)}$
	Број на празнења на корпите n	Коефициент на растреситост на ископаниот материјал во корпата		Коефициент на сигурност (намалување на капацитетот поради случајни и планирани загуби на време) $k_p$
Збирен коефициент во групата при пресметка	$E_r n$	Коефициент на копање (полнење на корпите со цврста маса) $k_b = \frac{k_{pu}}{k_r}$	$k_{ot}$	$k_{s(th)} k_p$
Назив на капацитетот и коефициентите на искористеност	1. Теоретски капацитет $Q_t = 60E_r n$			
	2. Технички капацитет $Q_{th} = Q_t k_b = 60E_r n k_b$			
	3. Откопен капацитет $Q_{ot} = Q_{th} k_{ot} = 60E_r n k_b k_{ot}$			
	4. Експлоатационен капацитет $Q_{sm} = Q_{ot} T_{sm} k_v k_{s(th)}$			

### 2.3.1. Теоретски капацитет на роторниот багер

Теоретскиот капацитет (максимален, проектиран, деклариран) е максимално пресметковно - конструктивен капацитет, а се пресметува преку конструктивните параметри на багерот или преку геометријата на резот и конструктивните параметри на багерот. Конструктивните параметри или фактори непосредно го одредуваат теоретскиот капацитет, па од тоа е произлезена и основната формула за негова пресметка:

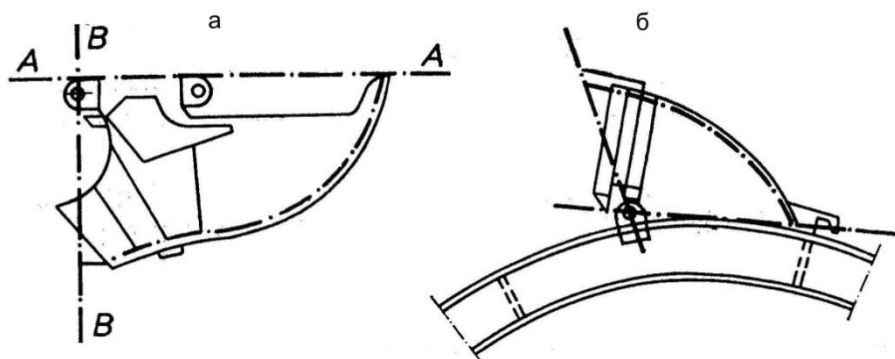
$$Q_t = 60E_r n, \text{ m}^3$$

каде што  $n$  е бројот на празнења на корпата, а  $E_r$  пресметковен волумен на корпата:  $E_r = E_1 + 0,5E_2, \text{ m}^3$ .

Волуменот на корпата  $E_1$  е волуменот помеѓу внатрешната површина на куќиштето на корпата и страничните површини. Во недостаток на точни податоци пресметковниот волумен на корпата и прстенот на роторот може да се добие преку теоретски декларираниот капацитет добиен од производителот:

$$E_r = \frac{Q_t}{60n}, \text{ m}^3$$

Роторен багер со повеќе брзини на роторот има исто толку теоретски капацитети (за секоја брзина на роторот соодветен капацитет).



**Слика 24.** Волумен на корпата на багер (а) роторен багер без ќелии со соодветен прстенест простор, (б) по TGL стандард

**Figure 24.** Volume of the excavators bucket (a) and roto excavator without cells with adequate ring space, (b) by TGL standard

Понекогаш се јавува потреба теоретскиот капацитет да се изрази во  $\text{m}^3/h$  цврста маса. За таа цел е потребно теоретскиот капацитет да се подели со коефициентот на растреситост на материјалот во корпата ( $k_r$ ).

### 2.3.2. Технички капацитет на роторен багер

Техничкиот (максимален - моментен, максимален во рез - појас, теоретски во цврста маса и во конкретна карпа) капацитет на багерот може да го дефинираме како максимално пресметан - конструктивен капацитет во еден рез во конкретен блок и карпест материјал, без какви било загуби на време за маневрирање, што би можело да се дефинира како теоретски капацитет во конкретен рез и карпа.

Покрај конструктивните фактори, посредно опфатени во теоретскиот капацитет, природните фактори непосредно го определуваат техничкиот капацитет на багерот, од што врз основа на формулите:

$$Q_{th} = 60E_r n \frac{k_{pu}}{k_r} = 60E_r n_0 z \frac{k_{pu}}{k_r}, \text{ m}^3/h \text{ и } Q_{th} = 60 \frac{E_r v_r z}{2\pi r} k_b = 30 \frac{E_r v_r z}{\pi r} k_b, \text{ m}^3/h$$

може да се постави и основната формула за негово пресметување во следниов облик:

$$Q_{th} = Q_t k_b \eta_F$$

каде што:

$$k_b = \frac{k_{pu}}{k_r} \quad - \text{ коефициент на копање}$$

$$k_{pu} \quad - \text{ коефициент на полнење на корпата}$$

$$k_r \quad - \text{ коефициент на растреситост на материјалот}$$

$$\eta_F \quad - \text{ коефициент на намалување на капацитетот поради несоодветност на силата и отпорот на копање}$$

Во случај кога специфичната сила на копање на багерот е поголема од отпорот на копање на карпата  $k_{F(p)} > k_F$ , важи  $\eta_F = 1$ , во обратен случај  $\eta_F < 1$  и се отчитува од дијаграм. Техничкиот капацитет задолжително се проверува со моќта на погонот на роторот, односно специфичната сила на копање со багерот која произлегува од неа.

Моќта на погонот на роторот е еден од ограничувачките фактори на техничкиот капацитет, а се дели на моќ на подигање на корпите и карпестиот материјал во нив ( $N_d$ ) и моќ на копање ( $N_k$ ).

$$N = \frac{1}{\eta} (N_d + N_k), \text{ kW}$$

каде што  $\eta$  е коефициент на корисно дејство.

Моќта на подигање ( $N_d$ ) се одредува врз основа на движењето на тежиштето на одрезокот од масивот до моментот на празнење на корпата. Тежиштето на вертикалниот одрезок е во половината на неговата висина. Вертикалниот одрезок е најчест и најнеповолен за моќта на подигање. Празнењето на корпата се врши помеѓу следниве агли на ротација:

$$\frac{9}{12}\pi \div \frac{10}{12}\pi \approx 135^\circ \div 150^\circ$$

Врз основа на тоа може да се усвои дека средната висина на празнење е  $0,9D$ . Апроксимативно може да се прифати дека висината на одрезокот е  $0,5D$ , а тежиштето на одрезокот е  $0,25D$ . Тогаш висината на подигање е:

$$h_d = 0,9D - 0,25D = 0,65D, \quad m$$

Моќта на подигање се пресметува преку масата на ископаниот карпест материјал ( $Q_{th}\gamma$  волуменска маса) и висината на подигање  $h_d$  според формулата:

$$N_d = \frac{0,65D Q_{th}\gamma g}{3,6 \cdot 10^6} = \frac{Q_{th}\gamma D g}{5,54 \cdot 10^6}, \quad kW$$

На сличен начин се пресметува моќта на копање:

$$N_k = \frac{P_k \pi D n}{10^3 \cdot 60 z} = \frac{P_k D n}{191 \cdot 10^3 z}, \quad kW$$

каде што:

$z$  - број на корпи

$P_k$  - сила на копање по венецот ( $N$ ) која се пресметува како производ на специфичниот отпор на копање ( $k_F$  или  $k_L$ ) и соодветните активни попречни пресеци на одрезоците или должината на секачките рабови во контакт со откопот или карпата:

- кога специфичниот отпор се искажува како  $k_F$ :

$$P_{k(F)} = F_{\Sigma(sr)} k_F, \quad N$$

- кога специфичниот отпор се искажува како  $k_L$ :

$$P_{k(L)} = L_{sr} k_L, \quad N$$

Заменувајќи ја вредноста за средната вкупна површина на попречниот пресек на резите по формулата:

$$F_{\Sigma sr} = \frac{c_{max} b h}{\nu r} k_w$$

или средната вкупна активна должина на резниот раб на корпата:



$$L_{sr} = \frac{z}{2\pi} [\varphi_u b + (0.995\varphi_u - 0.425)(c_{max} + 0.7r_v)]$$

ја добиваме следнава зависност за вкупната моќност на роторот:

$$N_{(F)} = \frac{Q_{th}}{3.6\eta \cdot 10^6} \left( k_F + \frac{\gamma D g}{1.54} \right), \text{ kW}$$

$$N_{(L)} = \frac{1}{2580\eta} \left[ k_L (\sqrt{Q_{th} D n} + 1.59 D n r_v) + \frac{Q_{th} \gamma g D}{0.219} \right], \text{ kW}$$

за  $h_d = 0.7D = 1.4r$  се добива:

$$k_{L(F)} = \frac{(274N - \gamma Q_{th} D) g}{1.3 \sqrt{Q_{th} D n} + 2.53 D n r_v}, \frac{N}{cm}$$

за  $h = 0.5D = r$  се добива:

$$k_{L(F)} = \frac{(232N - \gamma g Q_{th} D)}{\sqrt{Q_{th} D n} + 1.59 D n r_v}, \frac{N}{cm}$$

за  $h = 0.3D = 0.6r$  се добива:

$$k_{L(F)} = \frac{(1.98N - \gamma g Q_{th} D)}{0.76 \sqrt{Q_{th} D n} + 0.85 D n r_v}, \frac{N}{cm}$$

Со решавање на формулата за  $h_d = 0.7D = 1.4r$ , по  $N$  се добива:

$$N = \frac{1}{232} \left[ k_L (\sqrt{Q_{th} D n} + 1.59 D n r_v) + \gamma g Q_{th} D \right], \text{ kW}$$

Формулата важи за  $\gamma = 2.19 \text{ t/m}^3$ ,  $h_d = 0.65D$ ,  $\eta = 0.9$ , а  $\frac{b}{c} = 1.5$  е обликот на попречниот пресек на одрезокот.

За карпи со друга волуменска маса и трапезен облик на сечивото на корпите силата на копање се коригира:

$$k_{L(F)} = \frac{\left( 232N - Q_{th} D \frac{g\gamma}{2.19} \right)}{\sqrt{Q_{th} D n} + 1.59 D n r_v}, \frac{N}{cm}$$

а за корпи со полукружно сечиво:

$$k_{L(F)} = \frac{\left( 232N - Q_{th} D \frac{g\gamma}{2.19} \right)}{0.8 \sqrt{Q_{th} D n} + 1.47 D n r_v}, \frac{N}{cm}$$

Ако формулите:

$$N_{(F)} = \frac{Q_{th}}{3.6\eta \cdot 10^6} \left( k_F + \frac{\gamma D g}{1.54} \right), \text{ kW}$$

потоа

$$N_{(L)} = \frac{1}{2580\eta} \left[ k_L (\sqrt{Q_{th} D n} + 1,59 D n r_v) + \frac{Q_{th} \gamma g D}{0,219} \right], \text{ kW}$$

и

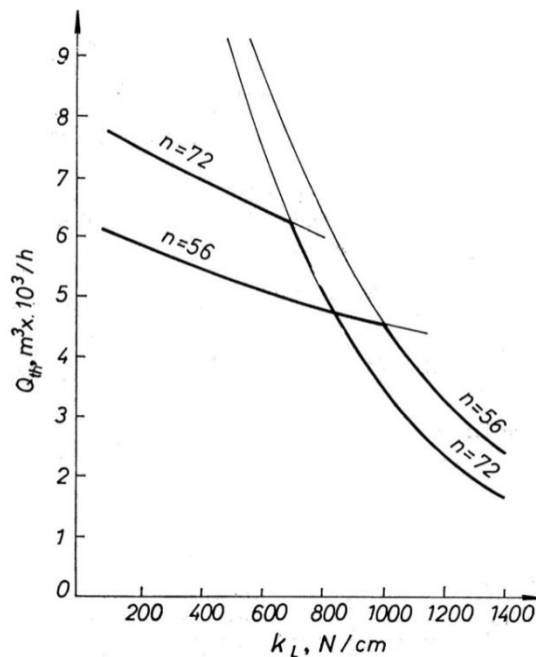
$$k_{L(F)} = \frac{(232N - \gamma g Q_{th} D)}{\sqrt{Q_{th} D n} + 1,59 D n r_v}, \frac{N}{cm}$$

се решат по  $Q_{th}$ , со  $\eta = 0,85$  и по трансформирање се добива:

$$Q_{th(F)} = \frac{480 N_{(F)}}{154 k_F + D \gamma g}, \text{ m}^3/h$$

$$Q_{th(L)} = \left\{ \sqrt{\frac{1,2}{D} \left[ \left( \frac{k_L}{\gamma g} \right)^2 n + 400 \frac{N}{\gamma g} \right] - 3,5 \frac{k_L}{\gamma g} n r_v - 1,1 \frac{k_L}{\gamma g} \sqrt{\frac{n}{D}}} \right\}^2$$

$$Q_{th(L)} = \left[ \sqrt{\frac{1}{4D} (k_L^2 n + 928N) - 1,59 n r_v k_L - \frac{k_L}{2} \sqrt{\frac{n}{D}}} \right]^2$$



**Слика 25.** Зависност на техничкиот капацитет од специфичниот отпор на копање

**Figure 25.** Depending on the technical capacity of specific digging resistance

Во пракса најчесто се користат дијаграми  $Q_{th} = f(k_L, k_F)$ , како на слика 25.

### 2.3.3. Капацитет на ископ на роторен багер

Капацитетот на ископ (ефективен максимален експлоатационен, експлоатационен на час) можеме да го дефинираме како максимално можеен капацитет во одреден блок и карпа.

На овој капацитет посредно влијание имаат конструкционите и природните фактори, од кои првите се опфатени во теоретскиот капацитет, а вторите во техничкиот капацитет. Капацитетот на ископ непосредно го определуваат, главно, технолошките фактори (геометрија на ископот и копањето), па од тоа произлегува и основната формула за негова пресметка:

$$Q_{ot} = Q_{th} \cdot k_{ot}, \quad m^3/h$$

каде што:  $k_{ot}$  е коефициент на ископ (коефициент на технички можеен континуитет на копање, коефициент на искористување на техничкиот капацитет).

Коефициентот на ископ е технолошки (проектиран) фактор на влијание и претставува коефициент на намалување (коефициент на искористување) на техничкиот капацитет на роторен багер, поради неговото маневрирање во блокот и срповидниот појас. Според тоа, со коефициентот на ископ се опфаќаат влијанијата на сите операции во блокот (поместување на багерот, вртење и спуштање на стрелата, оддалечување на багерот и сл.), загуби во капацитетот поради забрзувања и забавувања на вртењето на багерот во почетокот и крајот на резовите, при реверсирање, срповиден рез на деловите каде брзината на вртење ја преминува границата на регулација, намалување на висината на одрезоците на краевите на надворешната ширина на блокот и др.

Според тоа, коефициентот на ископ зависи од параметрите на багерот и блокот, висината на слоевите (меѓуслоевите), ширината и длабочината на блокот, должината на блокот во еден циклус на ископ, аголот на наклон на косината на блокот, брзината на вртење и спуштање или подигање на стрелата и нивното забрзување или забавување односно кочење. Коефициентот на ископ се пресметува како количник на теоретскиот (време на копање во сите резови и слоеви за една длабочина на блокот) и вистинското време (време на копање во сите резови и слоеви и маневрирање на багерот) во еден циклус на копање:

$$k_{ot} = \frac{Q_{ot}}{Q_{th}} = \frac{\frac{V_z}{t_k + t_m}}{\frac{V_z}{t_k}} = \frac{V_z t_k}{V_z (t_k + t_m)} = \frac{t_k}{t_k + t_m} = \frac{t_k}{t_{r-ef}}$$

каде што

$V_z = ZSH$  - волумен на една длабочина (должина во еден циклус на копање) на блокот

$Z, S, H$  - длабочина, ширина и висина на блокот

$t_m$  - време на маневрирање на багерот во блокот

$t_k$  - време на копање во блокот (теоретско време на копање на волумен на една длабочина на блокот

$$t_k = \frac{V_z}{Q_{th}} = \frac{ZSH}{Q_{th}}$$

$$t_{r-ef} = t_k + t_m$$

Роторен багер без телескопска стрела формира редови (низа од одрезоци) со ист облик и радиус на копање, вртејќи се во ископот со постојано заголемување или намалување на брзината според изразот:

$$v_{k(\beta)} = \frac{v_{k(0)}}{\cos \beta}, \text{ m/min}$$

каде што

$v_{k(0)}$  - брзина на вртење на стрелата (багерот)

$\beta$  - агол на вртење

Процесот на копање во секој рез (низа од одрезоци) се состои од етапи кои имаат различни брзини на вртење на стрелата, сметано во насока на движење на стрелките на часовникот и тоа:

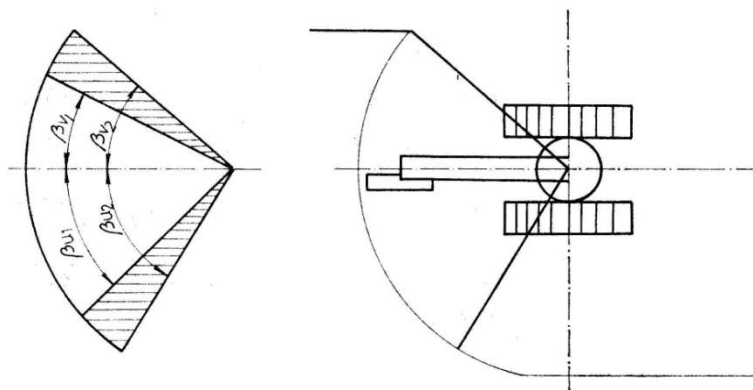
1. Сектор на максимално забрзување ( $\beta_u \leq 90^\circ$  до  $\beta_u \geq 60^\circ$ ) од најголем агол на вртење блиску до граничниот агол на автоматска регулација (кога багерот се врти кон  $\beta_{u(max)}$  т.е. во обратна насока, што е сектор на кочење, односно максимално забавување, до  $v_{k(\beta)} = 0$ , каде што настапува реверсија во движењето на стрелата.

2. Сектор на краткотрајна максимална брзина на вртење на стрелата (рамномерна брзина) до граничниот агол на автоматска регулација  $\beta_u = 60^\circ$ ; кога багерот се врти во спротивна насока, овој сектор е исто така со максимална рамномерна брзина. Практично често овој сектор го нема, посебно

кога  $\beta_{u(g)} < 90^\circ$ , а доколку овој сектор постои тоа обично се однесува само за најгорниот или првиот слој.

3. Секторите во кои се врши забавување (внатрешниот дел од блокот) и забрзување (надворешниот дел од блокот) по косинусоидален закон (секторите на копање) се најголеми и најважни. Кога багерот се врти во спротивна насока, на овие сектори прво доаѓа забавување, па потоа забрзување.

4. Сектор на кочење (максимално забавување) и реверзија на вртењето на стрелата, сличен е на секторот 1, но временски и аголно пократок, бидејќи  $\beta_v < \beta_u$ .



**Слика 26.** Поделба на багерскиот блок, според секторите на копање

**Figure 26.** Division of excavators block, according to the digging sectors

#### 2.3.4. Експлоатационен капацитет на роторен багер

Експлоатациониот (вистински, остварен) капацитет може да се дефинира како вистински можен капацитет на багерот во одреден систем на експлоатација, комплекс машини и површински коп. Бидејќи е потребна постојана проверка или верификација на експлоатациониот капацитет (како плански критериум) во конкретни услови, под овој термин се подразбира и остварен капацитет. Верификацијата на експлоатациониот капацитет се врши нагоре или надолу, со образложение.

Покрај конструктивните (опфатени со техничкиот капацитет) и главните технолошки фактори (опфатени со вкупниот капацитет), организационите, субјективните, климатските и дел од технолошките (од системот за експлоатација и комплексот на машини) фактори непосредно го определуваат

експлоатациониот капацитет на багерот од што произлегува основната формула за негова пресметка:

$$Q_{sm} = Q_{ot} k_v k_{s(th)} T_{sm}, \quad m^3/\text{смена}$$

каде што:

$k_v$  - коефициент на искористеност на времето (коефициент на експлоатациона сигурност);

$k_{s(th)}$  - коефициент на намалување на капацитетот поради технолошки фактори на неусогласеност во комплексот, со кои се опфатени сите загуби на време, надвор од времето за маневрирање на багерот во ископот (засекување на нов блок на краевите на фронтот, премин на багерот од еден меѓуслој на друг и сл.);

$T_{sm}$  - време на една смена, вообичаено 8 h.

Експлоатациониот капацитет на багерот може да се изрази и како часовен ( $m^3/h$ ), поради споредување со другите капацитети (но само како  $1/8 Q_{sm}$ )

$$Q_{ex} = Q_{ot} k_v k_{s(th)} T_{sm}, \quad m^3/h$$

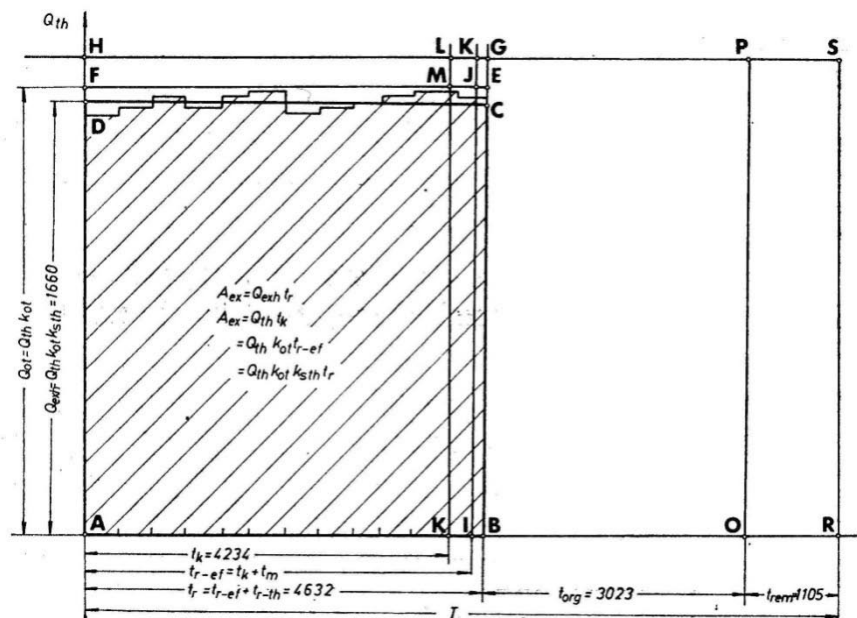
Коефициентот на искористеност на работното време  $k_v$  (коефициент на експлоатациона сигурност  $k_p^{ex}$ ) детално е образложен и по одделни работни процеси. Треба да се напомене дека коефициентот на искористеност на работното време може да се смета и како сменски или како годишен, што е условено од најмалата и најголемата организациона единица во оперативното планирање.

Ако коефициентот на искористеност на работното време (коефициент на експлоатациона сигурност) се смета како сменски, тогаш ги опфаќа само загубите во време во една смена. Во тој случај, за потребите на пресметка на експлоатациониот часовен капацитет се користи истиот овој сменски коефициент на искористеност на работното време, бидејќи  $Q_{ex(h)} = 1/8 Q_{sm}$ . При ваков пристап на пресметката на капацитетот, дневниот, месечниот и годишниот капацитет на багерот се пресметуваат како производ на експлоатациониот сменски капацитет ( $Q_{sm}$ ) и вистинскиот број на работни смени и денови.

Меѓутоа при проектирањето на површинските копови, годишното производство (капацитет) на слојот, ископното поле, ревиорот на површинскиот

коп и повеќе површински копови се покажале како незаменлив показател за оперативнo и перспективно планирање, за споредувања, за статистички истражувања и сл. Всушност, годишното производство, односно годишниот капацитет, се диктирани со законите за планирање, како и од економски причини (годината е најмала целина во планирањето на една економија).

Годишното производство (капацитет) на слојот, ископното поле, ревиорот, површинскиот коп и повеќе површински копови се претставени во дијаграм  $Q_{th} - T$ , каде на апсцисата се нанесуваат времето на работа и времето на застои (на еден или повеќе комплекси), а на ординатата се нанесуваат капацитетите како што е прикажано на *слика 26*. Во конкретниот случај е даден  $Q_{th} - T$  дијаграмот за комплекс Ib на површински коп, поле D за 1979 година.



**Слика 27.** Годишен  $Q_{th} - T$  дијаграм на работа на роторен комплекс

**Figure 27.** Annual  $Q_{th} - T$  diagram of operation of the roto complex

За овој случај експлоатациониот часовен капацитет не е  $1/8 Q_{sm}$ , туку се работи за максимален часовен експлоатационен капацитет (потенцијален) кого го пресметуваме по формулата:

$$Q_{ex(h)} = Q_{ot} k_{s(th)}$$

за  $k_{s(th)} = 1$  се добива:

$$Q_{ex(h)} \approx Q_{ot} = Q_{th} k_{ot}$$

Во тој случај коефициентот на искористеност на работното време (коефициент на експлоатациона сигурност) се пресметува за една година (од податоците за загуби во време на апсцисата).

Површините на одделните правоаголници на дијаграмот  $Q_{th} - T$  од слика 26 претставуваат остварено годишно производство, односно капацитет на тој слој, односно технолошки комплекс:

$$A_{ex} = Q_{th} t_k = Q_{th} k_{ot} t_{r-ef} = Q_{th} k_{ot} k_{s(th)} t_r, \text{ m}^3/\text{год}$$

Шрафираната површина на правоаголникот  $ABCD$  претставува остварено годишно производство (капацитет) на технолошкиот комплекс, односно производ на неговите страни:

$$A_{ex} = Q_{ex(h)} t_r = Q_{th} k_{ot} k_{s(th)}$$

Иста површина има и правоаголникот  $AIJF$ , па производот на неговите страни, односно оствареното производство е:

$$A_{ex} = Q_{ot} t_{r-ef} = Q_{th} k_{ot} t_{r-ef}$$

Иста површина има и правоаголникот  $AKLH$ , па производот на неговите страни, односно оствареното производство е:

$$A_{ex} = Q_{th} t_k$$

Од ова може да се запише дека:

$$A_{ex} = Q_{th} t_k = Q_{ot} t_{r-ef} = Q_{ex(h)} t_r$$

Правоаголникот  $CDFE$  претставува загуба во производството, како разлика од ископниот и експлоатациониот часовен капацитет на багерот:

$$[\overline{DF} = Q_{ot} - Q_{ex(h)}; \overline{CD} = t_r; \Delta A_{ex} = (Q_{ot} - Q_{ex(h)}) t_r]$$

Правоаголникот  $EFHG$  претставува загуба во производството, како разлика од техничкиот и ископниот часовен капацитет на багерот:

$$[\overline{FH} = Q_{th} - Q_{ot}; \overline{FE} = t_r; \Delta A_{ex} = (Q_{th} - Q_{ot}) t_r]$$

Правоаголникот  $BGPO$  претставува загуба во производството на технолошкиот комплекс поради организациони застои:

$$[\overline{BG} = Q_{th}; \overline{BO} = t_{org}; \Delta A_{ex} = Q_{th} t_{org}]$$

Правоаголникот  $OPSR$  претставува загуба во производството на технолошкиот комплекс поради ремонт и поправки на машините:

$$[\overline{OP} = Q_{th}; \overline{OR} = t_{rem}; \Delta A_{ex} = Q_{th} t_{rem}]$$

Малите правоаголници, кои се дванаесет на број и се наоѓаат во шрафираната површина  $ABCD$  претставуваат остварено производство на



месечно ниво (капацитет) на технолошкиот комплекс. На слика 26 се гледаат и месечните колебања во производството околу годишната вредност  $Q_{ex(h)}$ .

Со делење на површината на правоаголникот  $ABCD$  со површината  $ARSH$  добиваме показател на ефективна искористеност на капацитетот на багерот  $\eta_A$ .

Со делење на површината на правоаголникот  $ABCD$  со површината  $AOPH$  добиваме показател на работната употреба на сигурноста  $k_A$ .

Во Табела 2 се дадени резултатите од статистичка обработка на шест површински копови на лигнит во поранешна Југославија, за 1979 година, во четири рударски басени: Косово, Колубара, Костолац и Крека со производството и капацитетот.

**Табела 2.** Просечни временски податоци и показатели на искористување на капацитетот за површински копови на лигнит во поранешна Југославија за 1979 година

**Table 2.** Average time data and indicators of capacity utilization of lignite surface mines in the former Yugoslavia in 1979

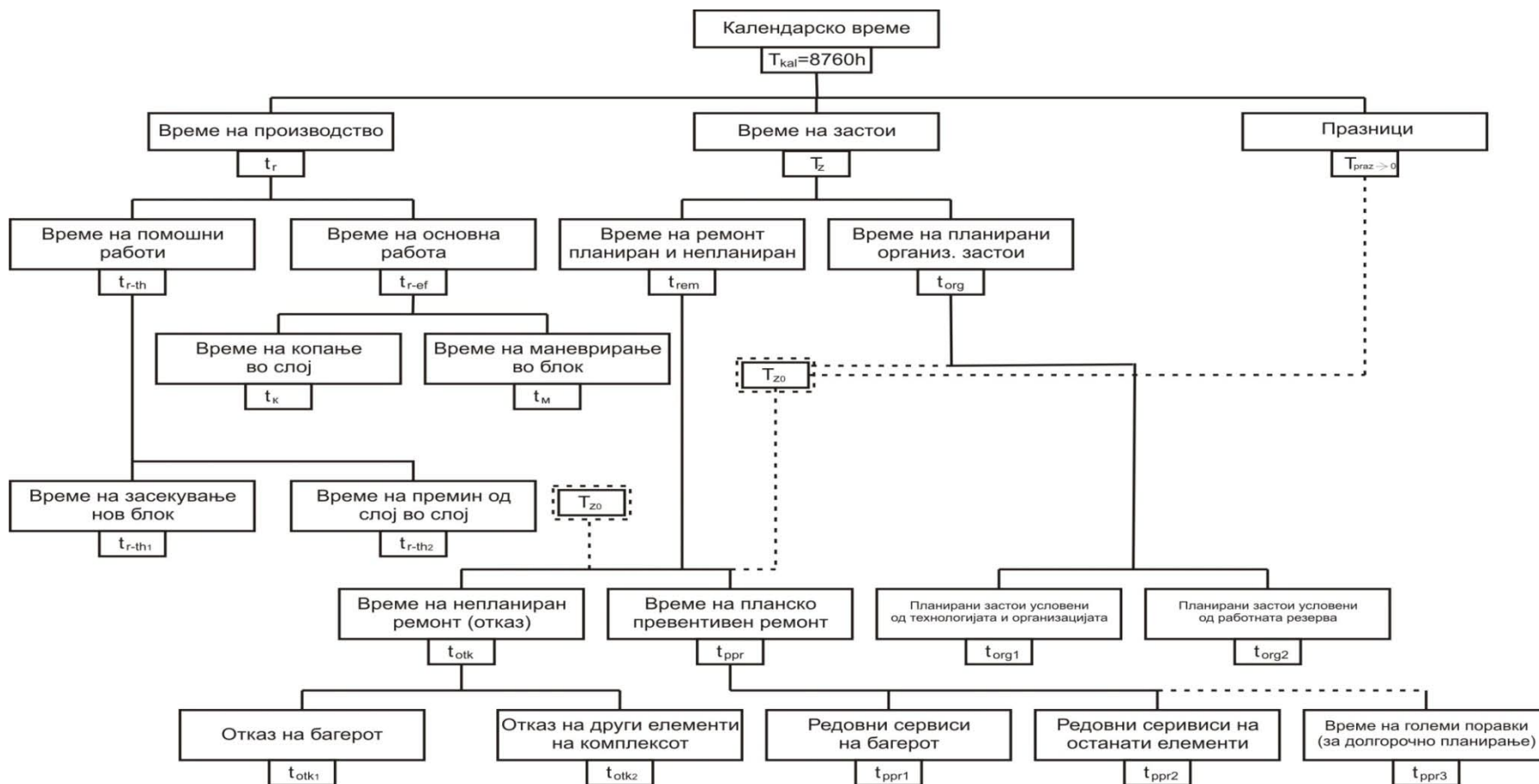
Показатели	$t_r$	$t_{org}$	$t_{rem}$	$t_{praz}$	$T_{kal}$	$k_p^{me h}$	$k_p^{rtz}$	$k_p^{op}$	$k_v$	$k_Q$	$k_A$	$\eta_A$	$t_k$	$t_{r-ef}$
	$h/god$	$h/god$	$h/god$	$h/god$	$h/god$								$h/god$	$h/god$
Рационални вредности														
Минимални	3890	1800	2300	0	8760	0,62	0,71	0,60	0,90	0,54	0,40	0,40	3700	
Максимални	4660	2580	2520	0	8760	0,67	0,74	0,72	0,90	0,62	0,48	0,48	4200	
Остварено во 1979 година								0,47						
Минимално	2580	1780	1220	0	8760	0,52	0,61	0,30	0,64	0,38	0,38	0,19	1632	
Максимално	4360	4120	3300	0	8760	0,78	0,87	0,50	0,93	0,64	0,64	0,40	3521	

$$\sum Q_{th} = 21.903 m^3 h, A_{ex} = 65 \cdot 10^6 m^3 \quad t_k = 2968 \text{ редуцирани часови годишно, } \eta_A = 0,339$$

Најдобри резултати се постигнати во Колубара:

$$t_r = 4632 h/год, t_{rem} = 1105 h/год, k_v = 0.529, k_Q = 0.913, t_k = 4234 h/год, \eta_A = 0.483$$

Структурата на годишното време на работа и застој на багерите е претставено на слика 27 и поаѓа од предложената класификација на капацитетот на багерот и сигурноста на комплексот машини и површинскиот коп како систем.



**Слика 28.** Структура на годишно време на работа и застои на багерот и други машини во површинскиот коп

**Figure 28.** Structure of the annual work time and work stoppages of excavators and other machines in the surface mine

### 2.3.5. Показатели на искористеност на капацитетот на роторните багери (комплекс)

Показатели на искористеноста на багерот, односно на целиот комплекс на машини на површинските копови можеме да ги поделиме на три групи:

- временски показатели на искористеност (коефициенти на сигурност);
- капацитивни показатели на искористеност;
- работни (целосни) показатели на искористеност.

Коефициентот на искористеност на техничкиот часовен капацитет е еден од капацитивните показатели, а се пресметува како количник на остварениот (експлоатациониот капацитет) и техничкиот капацитет на багерот или комплексот:

$$k_Q = \frac{Q_{ex(h)}}{Q_{th}} = \frac{\frac{A_{ex}}{t_r}}{Q_{th}}$$

каде што:

$A_{ex}$  - остварено годишно производство,  $m^3$

$t_r$  - време на производство  $t_r = T_{kal} k_v$

Ефективното работно искористување на багерот, односно комплексот, е работен показател и претставува производ на експлоатационата сигурност (коефициент на искористеност на времето) и коефициентот на искористеност на техничкиот часовен капацитет:

$$\eta_A = k_v k_Q = \frac{t_r}{T_{kal}} \frac{\frac{A_{ex}}{t_r}}{Q_{tk}} = \frac{A_{ex}}{T_{kal} Q_{tk}}$$

каде што

$A_{ex} = V_{god}$  - остварено годишен капацитет,  $m^3$

Коефициентот на работна употреба (искористеност) на физичка сигурност е втор работен показател и претставува производ на временското искористување (коефициент на оперативна сигурност) и коефициентот на искористеност на техничкиот часовен капацитет:

$$k_A = k_p^{op} k_Q = \frac{t_r}{t_r + t_{org}} \cdot \frac{Q_{ex(h)}}{Q_{th}}$$

Ефективното искористување на багерот може да се прикаже низ пресметка на часовите на копање во резозите, со што, практично, од часовите на производство да можеме да пресметаме фиктивни часови на копање со техничкиот капацитет по формулата:

$$t_k = \eta_A T_{kal} = \frac{t_r \frac{A_{ex}}{t_r}}{Q_{th}} = \frac{A_{ex}}{Q_{th}}$$

Според истата формула можеме да добиеме и податок за ефективната работна искористеност на сите багери, или комплексот, во површинскиот коп:

$$t_k = \frac{\sum A_{ex}}{\sum Q_{th}}$$

Ефективното искористување на капацитетот на комплексот претставува однос на остварената и теоретски можното производство.

Коефициентот на работна употреба на физичката сигурност претставува однос на оствареното и организационо можното производство.

Во табела 3 е дадена меѓусебната врска на сигурноста и искористеноста на капацитетот на роторен багер или комплекс.

Слично може да се пресметаат часовите на основна работа (копање во блокот) според формулата:

$$t_{r-ef} = \frac{A_{ex}}{Q_{ot}}$$

каде што  $Q_{ot}$  е капацитет на ископ на багерот,  $m^3$

Овој податок е попотребен и треба да се пресметува преку постоечките евиденции, бидејќи преку него можат да се добијат и часовите на работа со намален капацитет (засекување на нов блок, изградба на рампи при премин од еден слој во друг и сл.).

### 3. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЛЕЖИШТЕТО

#### 3.1. Геолошки карактеристики

Лежиштето „Брод – Гнеотино“ е детално истражено со длабинско дупчење во период од 1974 до 1992 година, при што се извршени сите истражувања и испитувања (геолошки, хидрогеолошки, инженерско-геолошки, геомеханички и хемиски).

Како интегрален дел на Пелагонискиот терциерен басен, наоѓалиштето „Брод – Гнеотино“ од аспект на неговата геолошка градба ги носи сите карактеристики специфични за седиментационата средина на басенот, односно наоѓалиштето „Суводол“ и „Живојно“.

Палеорелјефот, како и источниот дел на басенот, е изграден од претпалеозојски гнајсеви и микашисти, палеозојски кварц - графитни шкрилци, филити и аргилошисти.

Трангресивно врз палеорелјефот лежат:

- базалтната (подинска фација),
- продуктивната јагленосната формација и
- кровинскиот седиментен комплекс.

Базалтната фација со дебелина од преку 100 m е составена од: сивозелени песоци со различна гранулација, чакали и глини, кои фацијално се сменуваат во вертикален и хоризонтален правец, што е причина за неможноста од егзактно одредување на стратиграфското ниво на поединечните литолошки членови. Неопходно е да се потенцира дека заради големата длабочина на палеорелјефот нема доволно податоци за неговата морфоструктурна реконструкција и детално расчленување на базалтната фација. Највисокото ниво на базалтната фација е претставено со продуктивна јагленосна формација.

Продуктивната јагленосна формација претставува хетероген седиментен комплекс, којшто е составен од фација на сивозеленикави разно-гранулирани прашинести песоци и голем број на јагленови слоеви. Фацијата на разно-гранулирани прашинести песоци има карактер на меѓуслојна јаловина, интерстратификувана помеѓу јагленовите слоеви, но најчесто е присутна и во нејзиниот кровински дел. Кумулативната дебелина на меѓуслојната јаловина се движи во границите од 0,5 m (15<sub>I</sub>-VIII<sub>1</sub>) до 30,70 m (11-V<sub>1</sub>).

Што се однесува до карактеристиките и специфичностите на јагленовата формација, преку анализа и интерпретација на досега изведените истражни работи можат да се изнесат следниве констатации:

- во источниот краен дел, каде што јагленовите слоеви исклинуваат, формацијата се раслојува на повеќе поединечни слоеви на јаглен (дупнатина 10-VIII);

- дебелината на поединечните јагленови слоеви, констатирана во одредени дупнатини, се карактеризира со голема варијабилност, која се движи во границите  $0,2 \div 7,5$  m, при што треба да се истакне дека оваа карактеристика е својствена и за дебелината на секој поединечен јагленов слој, бидејќи истата многу брзо се променува како во хоризонтален, така и во вертикален правец на своето протегање;

- кумулативна дебелина (формирана од збирот на поединечните јагленови слоеви, констатирани во дупнатините, се движи од 0,40 m до максималните 17,20 m, односно пресметана во просек за целото наоѓалиште (според кумулативните дебелини на јагленовите слоеви во поединечните дупнатини) дебелината изнесува 8,57 m;

- кон запад јагленовите слоеви на релативно голема длабочина имаат тенденција да интерферираат во еден до два јагленови слоја, чијашто максимална дебелина се движи до 11,2 m;

- констатираната дебелина на јагленосната формација се движи во дијапазонот од неколку десетина сантиметри до 121,3 m;

- релативната длабочина на залегање на продуктивната формација е од 7,8 m до 222,80 m.

Кровинскиот седиментен комплекс лежи директно на кровината на јагленосната формација, а е претставен од плиоценски фации на: прашинести, ситно до среднозрни песоци и алевролитско - лапоровити глинци и квартален седиментен комплекс.

Фацијата на прашинести, ситно до среднозрни песоци, која се одликува со карактеристична сивозеленикава боја, со исклучок во некои дупнатини (на попречните профили: 15, 10, 9 и 8), има свој континуитет на простирање, како непосредна кровина на јагленосната формација и варијабилна дебелина, која се движи од 1,3 до 22 m, со изразена тенденција на нејзино зголемување кон запад.

Фацијата на алевролитско - лапоровити глинци низ целото наоѓалиште има континуирано протегање кон исток и постепено исклинува и се губи, додека кон запад ја здобива својата продуктивна моќност, која достигнува и до 100 m.

Геолошките профили на истражните дупнатини условуваат констатација дека во просторот на наоѓалиштето, во фацијата на глинци се наоѓаат и фини пластични глини.

Падниот агол на литолошките членови од кровинскиот седиментен комплекс е рефлексција на јагленосната формација, односно палеорелјефот.

Преку серијата на алевролитско - лапоровитите глинци лежи комплекс на преталожени глини и разно-гранулирани песоци, ситно до среднозрни песочници и конгломерати. Преталожените глини и песоци, заради честите промени во режимот на седиментацијата се одликуваат со голема хетерогеност, којашто не овозможува реална интерпретација и поврзаност во хоризонтален и вертикален правец на поголемо растојаније. Во основа песоците имаат доминантна позиција, по својот гранулометриски состав припаѓаат на групата ситно до среднозрни песоци, со различен степен на заглинетост и присуство на прашина, што условува да се сретнат голем број на вариетети од типот на: песокливи прашини, прашинести песоци со одреден степен на заглинетост. Констатираните конгломерати се банковити и компактни, со врзиво од силикатна природа и моќност од околу 20 m, со специфичности кои овозможуваат нивно определување, како одделна подфација.

Во југозападните делови на овој терен (од двете страни на Црна Река) се формирани слатководни карбонати и травертини, а дебелината на серијата достигнува и до 90 m.

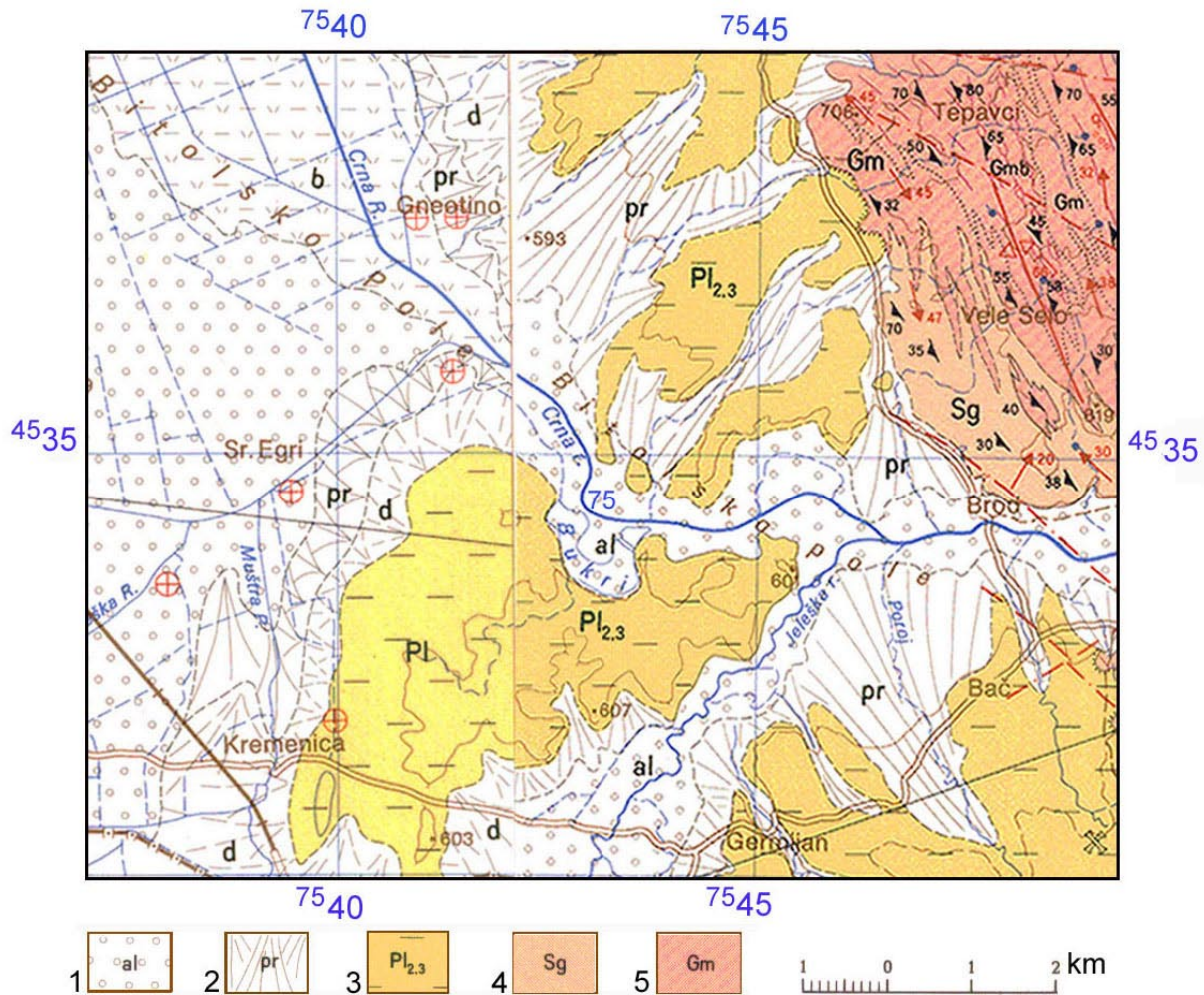
Квартерните наслаги лежат непосредно на плиоценскиот седиментен комплекс. Распространети на голем простор се претставени со два генетски типа:

- делувијално - пролувијални и
- алувијални седименти.

Делувијално - пролувијалните седименти се изградени од глиновито-есковити литолошки членови со присуство на фрагменти од рабниот дел на наоѓалиштето, во кои доминираат валутоци од кварц. По боја се црвено-кафеави и често се дефинирани како делувијална црвеница.



Алувијалните наслаги (разно-гранулирани песоци и чакали) се распространети во јужниот и западниот дел на наоѓалиштето, по Црна Река и повремени текови.



**Слика 29.** Геолошка карта на пошироката околина на наоѓалиштето Брод – Гнеотино

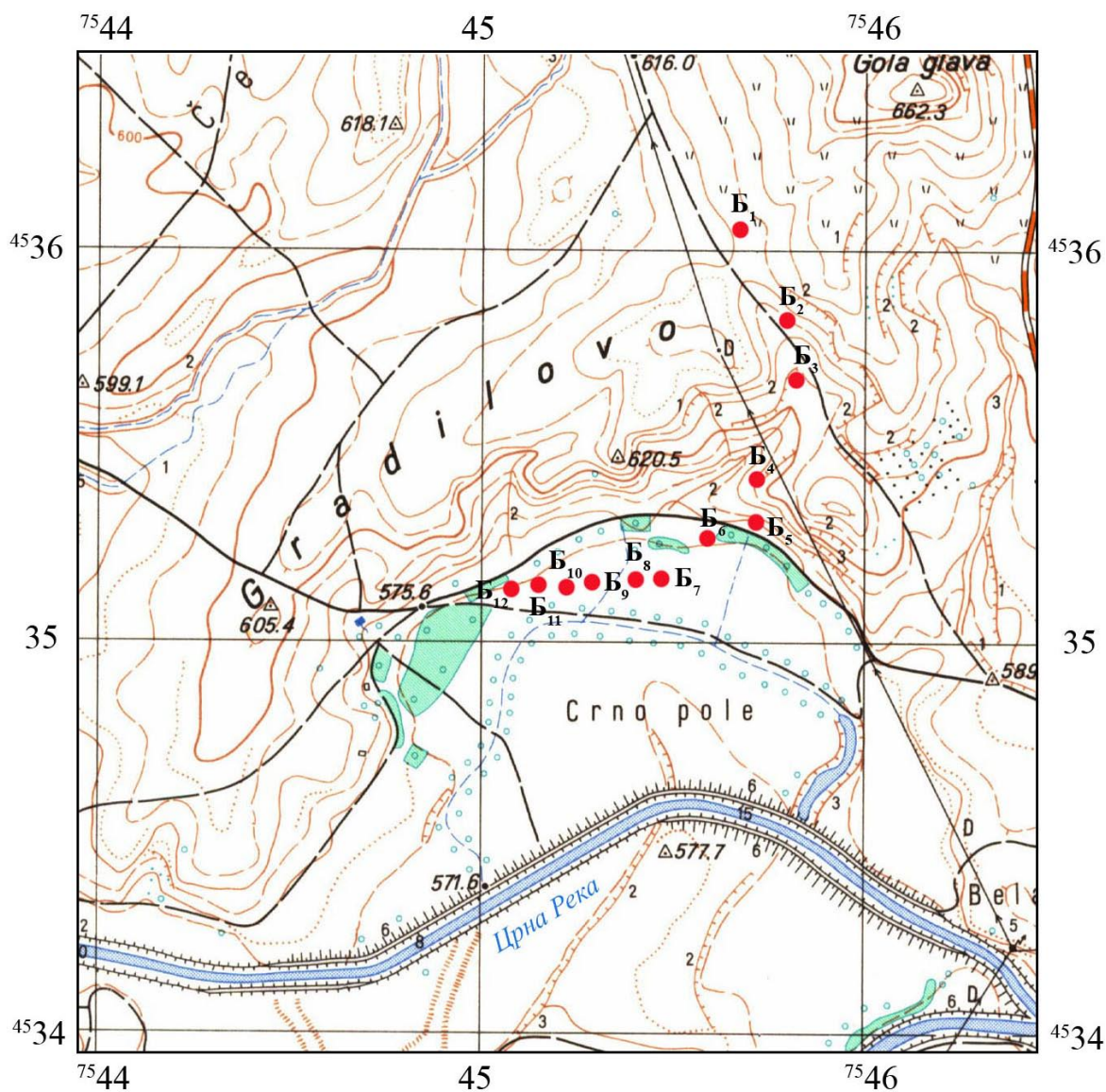
**Figure 29.** Geologic map of surrounding area of the Brod-Gneotino mine deposit

1. алувијални седименти, 2. пролувијални седименти, 3. плиоценски седименти (чакали, песоци и глини), 4. микашисти, 5. гнајсеви

### 3.2. Географски и хидролошки карактеристики

Јужно од лежиштето „Суводол“, на оддалеченост од 10 km, односно меѓу селата Брод и Гнеотино и реката Црна, на површина од околу 10 km<sup>2</sup> и на надморска висина од 570 ÷ 650 m се наоѓа лежиштето на јаглен „Брод-Гнеотино“. Од хидролошките појави најважен е постојниот површински водотек на Црна Река, која тече јужно од усекот и ПК „Брод-Гнеотино“. Во овој регион на Црна Река се оставени две хидролошки станици: Новаци, 10 km североисточно од ПК „Брод-Гнеотино“ и Скочивир, околу 10 km источно од копот. Станицата Новаци е во Информативен мониторинг на реките и езерата во Република Македонија, додека станиците Скочивир на Црна Река и Брод на Елешка Река се во рамките на воспоставен современ мониторинг систем за следење на квантитетот и квалитетот на површинските води во Република Македонија.

Според податоците од Управата за хидрометеоролошки работи - Скопје за период од 1996 до 2000 г. максималниот протек на Црна Река од 476 (m<sup>3</sup>/s) е регистриран во февруари 2000 г. на станица Новаци, додека минималниот протек од 1,22 (m<sup>3</sup>/s) е регистриран во август 2000 год. на станица Новаци. Средногодишниот проток на Црна Река за наведениот период на мерењата изнесува 13,57 (m<sup>3</sup>/s) на станица Новаци, додека на станица Скочивир е поголем 19,32 (m<sup>3</sup>/s) поради притоки на Елешка Река и др.



**Слика 30.** Топографска карта со назначена положба на проектираните истражно-експлоатациони бунари

**Figure 30.** Topographic map with designated location of the exploration – exploitation wells

### 3.3. Структурно-тектонски карактеристики

Ако просторот на наоѓалиштето се разгледува од аспект на неговата геоморфолошка структура и изразените форми, следи констатацијата дека на површината на теренот, со исклучок на засеците кај отворениот пробен истражен усек, не постојат индикации кои би асоцирале дека во палерелјефот и во седиментниот комплекс се случувале интензивни тектонски движења. Констатацијата битно се променува по анализата на показателите кои резултираат пред сè од последната фаза на истражување. Резултатите добиени со истражното дупчење и интерпретацијата на стратиграфските нивоа на поединечните седиментни комплекси укажуваат дека плиоценските седименти во наоѓалиштето претставуваат една моноклинала благо навалена кон запад-југозапад, со паден агол околу  $10 \div 15^\circ$ . Карактеристично за седиментниот комплекс од структурно-тектонски аспект претставуваат настанатите руптурни морфоструктурни форми - раседи, кои се последица на интензитетот на радијалната неотектоника. Заради нивниот можен, пред сè, негативен карактер во фазата на експлоатација, во предметната фаза на истражување, за разлика од претходните, активностите за нивна дефинираност имаа нагласен карактер.

### 3.4. Геомеханички карактеристики

На просторот од наоѓалиштето на јаглен „Брод-Гнеотино“ во неколку фази се извршени геомеханички истражувања. Првите истражни работи се направени во 1974 година во рамките на Програмата за изведување на регионални истражувања на јаглен во Пелагонискиот басен, при што добиените позитивни резултати довеле до тоа да биде проектирана соодветна профилска мрежа по која се изведуваат сите наредни фази на истражните работи. Наредните истражни работи се направени во 1978 год. од страна на „Геобиро“ - Битола, а добиените резултати се прикажани во *Извештајот од постигнатите резултати од спроведените геолошко-рударски истражни работи за јагленосниот терен „Брод-Гнеотино“ – Битола, 1978 година*. Следните истражни дупчења се направени во 1983 год. од страна на Геолошки завод во Скопје и од добиените резултати е изработен *Извештај за досегашните истражувачки работи за јагленовото лежиштето Брод-Гнеотино“ заклучно со 1983 год.*, а како продолжеток на овие истраги во



1985 год. од страна на „Геомаврово“ - Скопје, во склоп на истражните теренски работи на наоѓалиштето Брод - Гнеотино, 52 сондажни дупнатини со вкупна длабочина од 7.746 m и истите геомеханички се третирали. Понатаму, Рударски институт - Скопје во 1991 год. изработил Анекс кон Упростен рударски проект за пробно-истражно експлоатационен усек на лежиштето „Брод-Гнеотино“. Со теренските истражни работи е продолжено во 1992 година, кога од страна на „Геоексперт“ - Скопје се изведени уште 29 сондажни дупнатини со вкупна длабочина од 1.983 m. Во сите наведени истражувачки периоди се вклучени и геомеханички испитувања, но со помало значење во однос на долунаведените. Во наредната фаза на истражување, реализирана во периодот 2000÷2001 год. од изведувачите „Геинг K&K“, Градежен институт „Македонија“, „Геохидропроект“, сите од Скопје и Геолошката служба при рудникот „Суводол“ РЕК Битола - Битола се изведени вкупно 65 сондажни дупнатини со вкупна метража од 6.907 m кои се детално геолошки, хидрогеолошки и геомеханички картирани. За геомеханички испитувања се земени 150 пореметени примероци за класификациони лабораториски испитувања и 100 полунарушени и ненарушени примероци за специјални лабораториски испитувања. Во период од 2001 до 2005 година не се вршени наменски геомеханички испитувања, освен во 2004 година кога е изработена Физибилити студија за почеток на отворање и експлоатација на ПК „Брод- Гнеотино“, каде се прикажани и геомеханичките работи.

Имајќи ги предвид сите досегашни истражни работи на локацијата од дното на јагленовото наоѓалиште, направена е поделба на седиментниот комплекс на неколку зони, а според физичко-механичките карактеристики на регистрираните почвени материјали е направена поделба во стратиграфската позиција на седиментниот комплекс:

- Првата зона е именувана како „висока кровина“ и ја сочинуваат квартерните наслаги со многу нехомоген состав, каде што се присутни прашинести до глиновито пескливи материјали (GW, GP, GFc, SFc, SW, MI, ML, CI, CL) со присуство на самци од матични карпи од кои преовладува кварц. Горенаведените материјали се среќаваат во слоеви со моќноста од неколку сантиметри до неколку метри без одредена закономерност на протегање. Физичко-механичките карактеристики

на подслоевите се разликуваат во зависност од тоа дали спаѓаат во групата кохерентни, слабо врзани или некохерентни материјали. Јакостите карактеристики за кохерентните и слабо врзаните материјали се добиени преку лабораториски испитувања врз неарушени примероци, а за некохерентните материјали од извршени опити на стандардна динамичка пенетрација (SPT-тест).

- Втората зона ја сочинуваат сивите глинци-трепели кои по своите физичко-механички карактеристики се издвојуваат од останатите материјали. Овие материјали се карактеризираат со висока природна влажност и мала волуменска тежина во сува состојба. Според геомеханичката класификација спаѓаат во група на високопластични многу заглинети прадини (MH/CH), а процентот на глина и песокливи фракции варира без некоја изразена закономерност. Трепелите се констатирани во најголем број истражни дупнатини, освен на североисточниот дел на наоѓалиштето на неговиот обод и во јужниот дел во алувијалната рамнина близу до р. Црна.

- Третата зона ја опфаќа продуктивната серија во која спаѓа јагленот. Најчесто може да се диференцираат два главни јагленови слоја, а во дел од наоѓалиштето, три кои кон запад се соединуваат во еден главен слој. Вкупната поединечна моќност на јагленовите слоеви по дупнатини е од неколку десетици сантиметри до 15.80 m во дупнатина. Со цел да се определат физичко-механичките карактеристики на јагленот се направени лабораториски испитувања врз нарушените примероци и теренски испитувања за определување на влажност и волуменска тежина во природни услови.

- Четвртата зона ја сочинуваат песоци и прадини на места заглинети, со видливо присуство на остатоци од органска материја прадини и глини од органско потекло (SFs, SP, ML, OL, OH). Ова се седименти со плиоценска старост кои се наоѓаат под трепелите, непосредно над јагленот и помеѓу јагленовите слоеви. Според искуствата добиени при експлоатација на јагленот во постоечкиот површински коп „Суводол“, слоевите на јагленова глина (OH), иако со мала моќност, треба да се третираат со посебно внимание, бидејќи при контакт со вода ги губат јакоите карактеристики и се потенцијална опасност за стабилност во копот.

- Петтата зона ја сочинуваат материјалите од подината, односно зона под продуктивната серија, а е претставена со песокливи прадини до

крупнозрни песоци (SFs, ML, SW, SP) кои се доста збиени и на одредени места се зафатени од процесите на дијагенизација.

Во следнава табела се дадени геомеханичките карактеристики на работната средина:

**Табела 3.** Геомеханички карактеристики на работната средина

**Table 3.** Geomechanical characteristics of working area

Вид на материјал Type of material	Геомеханичка ознака Geotechnical sign	c [kN/m <sup>2</sup> ]	φ [°]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]
Чакали песокливи Gravel sandlike	GW, GP, GFs	0.0	33.00	21.00
Трепел Trepel	SP, SW	0.0	28.00	20.10
Песоци чакалести Sands with gravel	(TR)	31.35	19.63	15.62
Прашина, песокливо глиновита Dust, sand and clay	MI, ML	24.63	16.11	18.62
Песоци, заглинети, прашинести Sands, clayed, dust-like	SF <sub>c</sub> , SF <sub>s</sub>	8.00	17.65	18.74
Јагленова глина - органска Clayed coal- organic	OH, OI/OL	25.00	14.20	16.96
Јаглен Coal	(J)	50.00	24.00	12.67

#### 4. АНАЛИЗА НА ОСНОВНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА РОТОРНИОТ БАГЕР CPC-2000 ПРИ ОТКОПУВАЊЕ НА ЈАЛОВИНА ВО ПК „БРОД-ГНЕОТИНО“

##### 4.1. Технички карактеристики на роторниот багер CPC-2000-32/5, (2x500kW)+VR(+0/8)

Роторниот багер CPC 2000-32/5,0 (2x500 kW)+VR е без телескоп. Се состои од основна машина и уред за истовар кој налегнува на платформата на багерот и потпорна количка. Основната машина и потпорната количка имаат сопствен гасеничен транспорт. Работното тркало е бескелиско со 18 кофи. Конструкцијата на роторниот багер е изведена во облик на буквата С и заедно со катарката од работното тркало се потпира на тркалезен (топчест) прстен на долниот дел од роторниот багер.

Димензиите на роторниот багер се: 153,5; 39; 33 (m).

Услови на работа:

- Максимална температура +40(°C)
- Минимална температура -25(°C)
- Брзина на ветерот при работа до 25 (m/s)
- Брзина на ветерот при мирување до 35,8 (m/s)

Дозволен наклони при работа и транспорт:

- Работна рамнина:
  - Надолжен наклон 3,5 (%)
  - Попречен наклон 3,5 (%)
  - Резултантен наклон 5 (%)
- Транспортна рамнина:
  - Надолжен наклон 5 (%)
  - Попречен наклон 5 (%)
  - Резултантен наклон при што кај надолжниот наклон од 5(%) е дозволен поперчен наклон од 3(%) или обратно 5,8 (%)
  - Максимален наклон во правец на движење 10 (%)

При ова движење мора да бидат исполнети следниве ограничувања:

- Горниот вртлив држач на багерот со претоварната машина е во правец на транспортот. Долниот раб на работното тркало мора да биде подигнат околу 3 (m) над планумот, да нема ветер и поперчен наклон.



### Карактеристики на комплетната машина-багер

- Теоретски капацитет при висина на подетажата од 5,0 (m), 6.000 (m<sup>3</sup>/h)  
при коефициент на растреситост од 1,3 4.600 (m<sup>3</sup>cm/h)
- Гарантиран капацитет 3.000 (m<sup>3</sup>cm)
- Специфична сила на режење односно до 90 (kg/cm) должина на  
режење на ножот
- Опсег на вртење на горниот обртен дел од багерот со подигната  
стрела на работното тркало ± 225(°)
- Опсег на вртење на горниот обртен дел во однос на претоварната  
машина ± 150(°)
- Растојание на основната точка на претоварната машина до  
средината на багерот 17,5(m)
- Службена тежина на багерот 2.810(t)
- Испорачана тежина 2.660(t)
- Должина на целиот багер со претоварната машина 153,5(m)
- Висина на багерот 39(m)
- Ширина на багерот 33(m)

### Основна машина-багер

- Висина на откопување 32 (m)
- Длабина на откопување под нивелета на стоење на багерот 5(m/min)
- Истоварна должина од средината на работното тркало до средина на  
багерот во хоризонтална положба 44,0(m)
- Средна брзина на дигање на катарката од работното тркало 5,0 (m)
- Брзина на вртење на горниот вртлив држач на багерот мерено на  
работ на работното тркало:  
кај  $n_c = \text{околу } 13 \div 40(\text{m/min})$   
кај  $n_c = \text{околу } 13 \div 35(\text{m/min})$
- Службена тежина на машината 2.240(t)
- Притисок врз почвата 0,1(N/cm<sup>2</sup>)
- Брзина на движење 6(m/min)
- Најмал радиус на кривината 80(m)

#### Гасеничен уред за транспорт:

- Број на гасеници 6-потпрени во 3 точки
- Ширина на плочите од гасениците 3.200 (mm)
- Чекор на членот од гасеницата 650 (mm)
- Растојание од средината на погонското до средина на тркалото за затегнување, кога гасеницата е нормално оптегната 4×11,2 (m) и 2×13,9 (m)
- Број на носечки валјаци по гасеница 14 односно 16 парчиња

#### Носечка конструкција:

- Долен држач
  - Прстенаст носач со шепа;
  - Кутиеста конструкција на пречникот од топчестиот венец. 10 (m)
- Горен вртеже држач
  - Платформа-кутиеста конструкција;
  - Катарка на противтегот-решетката конструкција;
  - Столб-кутиеста конструкција;
  - Катарка на работното тркало-решетката конструкција.

#### Работно тркало - без корпи

- Пречник на работното тркало 12(m)
- Број на корпи 18 (парчиња)
- Зафатнина со прстенестиот дел 1.100(l)
- Број на турања (истурања) 91 односно 70/(min)
- Брзина на режење 2,92 односно 2,24 (m/s)
- Погонска сила на работното тркало 2x500 1.000(kW)
- Најмала обемна сила 31,5 односно 45 (Mr)
- Макс. обемна сила кога лизгачката сврзница се исклучува 51 (Mr)
- Број на вртежи на работното тркало при  $n_c = 30$ , со помошен мотор околу 0,9 ( $\text{min}^{-1}$ )

### Транспортни ленти

- Ширина на лентата 2 (m)
- Агол на коритото 36 (°)
- Лента на работното тркало-лента 1
  - Должина на лентата од средината на барабаните 45 (m)
  - Брзина на лентата 4 (m/s)
- Лента за чистење
  - Ширина на лентата 2,25 (m)
  - Должина на лентата од средината на барабаните 12 (m)
  - Брзина на лентата 0,54 (m/s)
- Меѓулента - лента 2
  - Должина на лентата од средината на барабаните
  - Брзина на лентата 4 (m/s)

Кран - поставен е и се движи на стрелата на противтегот, вртлив е:

- Носивост 7,5 (t)
- Дофат 10 (m)
- Највисока положба на куката од нивото на стоење на багерот 37 (m)
- Најниска положба на куката од нивото на стоење на багерот 1(m)

Уред за компримиран воздух. За поправки на багерот е поставен компресор:

- Капацитет 150 (m<sup>3</sup>/h)
- Работен притисок 8 (bar)

Уред за подмачкување. Машинските делови кои ротираат ќе се подмачкуваат на следниов начин:

- Тркалачки лежишта - повремено рачно;
- Тркалачките лежишта на носечките валјаци од лентата - трајно се подмачкани;
- Лизгачките лежишта - циркуларно, со мазалка која се движи со ел. мотори;
- Редуктори - циркуларно, со нуркање или со запчести пумпи кои се движат со ел. мотори

## Претоварна машина

- Растојание од средината на машината до средината на багерот 17,5 (m)
- Должина од средината на вртењето на претоварната машина до средината на истоварната инка 92 (m)
- Опсег на вртење на претоварната машина кај транспортна рамнина  $\pm 0$  (m)  $\pm 105$  ( $^{\circ}$ )
- Опсег на вртење на претоварната машина кај транспортна рамнина  $\pm 3$  (m)  $\pm 70$  ( $^{\circ}$ )
- Истоварна должина на врвот од истоварната катарка која се дига и спушта од точката на вртење до средината на вртливата инка 19 (m)
- Висина на истовар на долниот раб на претоварната инка од работната површина на претоварната машина кај транспортната рамнина  $\pm 0$ 
  - Максимално 8 (m)
  - Минимално 0 (m)
- Потпирна точка на претоварната машина кај транспортна рамнина  $\pm 0$  од средината на вртењето на багерот:
  - Потпирна количка вовлечена 71,5 (m)
  - Потпирна количка извлечена 80,5 (m)
- Должина на извлекување на потпирните колички 12 (m)
- Можна висинска разлика помеѓу транспортните рамнини на багерот и претоварната машина  $\pm 4,5$  (m)
- Должина на истовар на истоварната лента од точката на вртење до средината на истоварната инка 10 (m)
- Вртење на истоварната лента  $\pm 90$  ( $^{\circ}$ )
- Брзина на вртење на истоварната катарка на теренот во средината на истоварната инка 1 (m/min)
- Службена тежина на претоварната машина 570 (t)
- Притисок врз почвата 8,5 (N/cm<sup>2</sup>)
- Брзина на движење (транспорт) 6 (m/min)

#### Гасеници-уред за транспорт

- Број на гасеници 2 потпрени во 3 точки
- Ширина на плочите на гасениците 3.200 (mm)
- Чекор на членот од гасеницата 650 (mm)
- Растојание од средината на погонското тркало до средината на тркалото за затегање 9,85 (m)
- Растојание кај подвижната гасеница 8,4 (m)
- Број на носечки валјаци по гасеница 12 односно 10 парчиња

#### Носечка конструкција:

- Долен држач кутиеста конструкција
- Пречник на кугличестиот (топчестиот) венец 5,5 (m)
- Долна платформа кутиеста конструкција
- Горна платформа решеткаста конструкција
- Претоварен мост решеткаста конструкција
- Претоварна катарка кутиеста конструкција
- Истоварна катарка кутиеста конструкција

#### Транспортни ленти

- Ширина на лентата 2 (m)
- Агол на коритото 36 (<sup>0</sup>)
- Приемна лента - лента 3
  - Должина на лентата од средината на барабаните
  - Брзина на лентата 4 (m/sek)
- Лента за чистење под приемната лента
  - Ширина на лентата 2,25 (m)
  - Брзина на лентата 0,54 (m/s)
  - Должина на лентата од средината на барабаните 22 (m)
- Истоварна лента - лента 4
  - Должина на лентата од средината на барабаните
  - Брзина на лентата 4 (m/s)

#### Уред за компримиран воздух. Компресор:

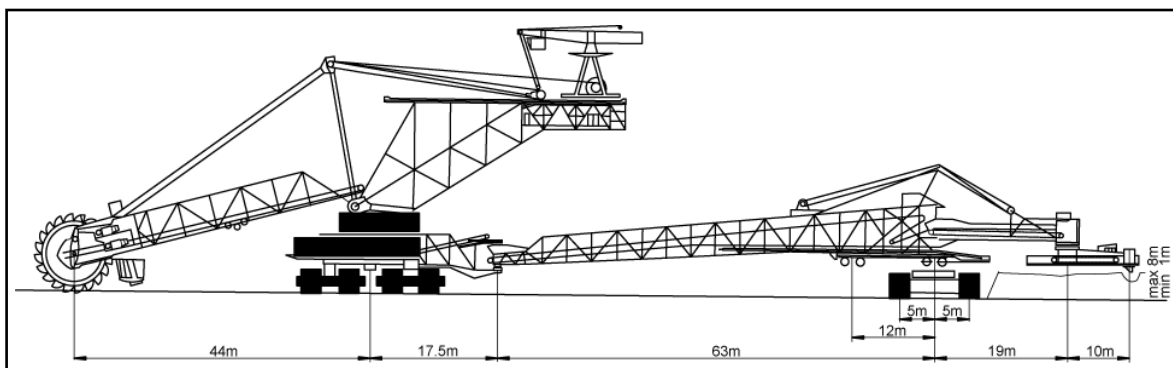
- Капацитет 150 (m<sup>3</sup>/h)
- Работен притисок 8 (bari)

### Уред за подмачкување

- Вртливите работни делови се подмачкуваат на ист начин како и кај основната машина

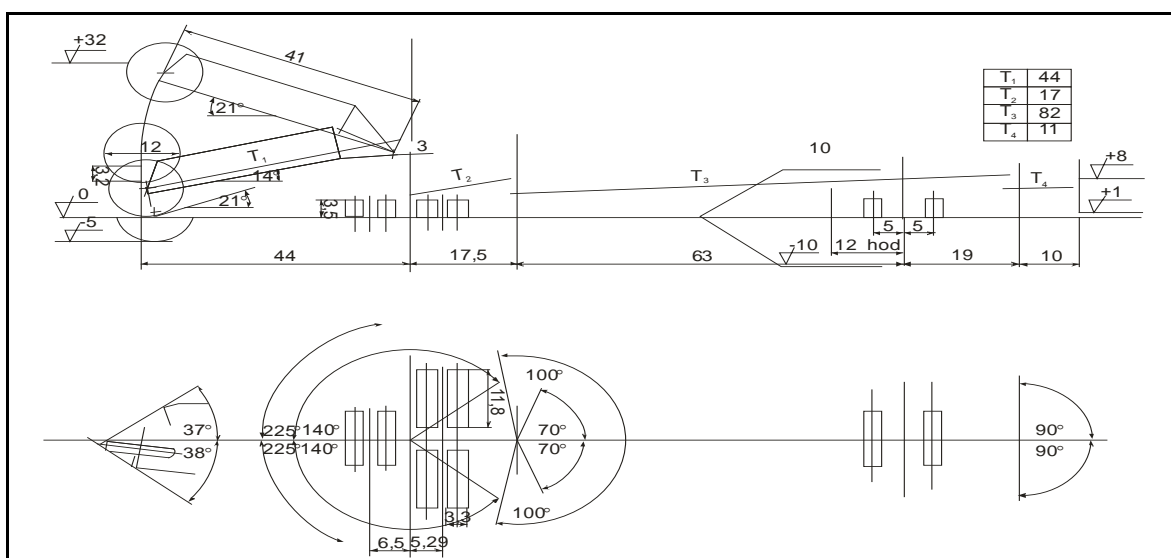
### Електро опрема

- Напон:
  - Приклучок за 6 (kV) наизменична троф.струја  
заштитни заземјувања
  - Работен напон за високонапонски погони 6(kV) наизменична троф.струја заштитно заземјување
  - Работен напон за нисконапонски погони 380 (V), систем на заштита од води
  - Затоплување и осветлување 380/220 (V), систем за заштита од води
  - Неопходно светло 110 (V)
  - Сигнален напон 24 (V)
  - Команден напон 110 (V) наизменична струја,  
80 (V) еднонасочна струја,  
220 (V) наизменична струја,  
220 (V) еднонасочна струја,  
110 (V) еднонасочна струја.
- Довод на електрична енергија
- Проводен 3x185 (mm<sup>2</sup>)/3x16,7 (mm<sup>2</sup>)
- Погони-основна машина
  - Вкупна снага на ел.моторот 3.000 (kW)
  - Од тоа во истоварниот погон 1.900 (kW)
- Погони-претоварна машина
  - Вкупна снага на моторот 885 (kW)
  - Од тоа во истоварниот погон 660 (kW)



**Слика 31.** Роторен багер CPC 2000-32/5+VR

**Figure 31.** Bucket Wheel Excavator SRs 2000-32/5+VR



**Слика 32.** Роторен багер CPC 2000-32/5+VR, технолошки параметри

**Figure 32.** Bucket Wheel Excavator SRs 2000-32/5+VR, technological parameters

#### 4.2. Технологија на откопување со роторен багер CPC-2000

Откопувањето на јаловината со I и II - БТО систем во принцип се врши со +20 m основна етажа, преку +10 m растоварување и -7 и -5 m длабински етажи. Основната етажа и подетажите -7 и -5 m се откопуваат со багерот SRs-2000, додека растоварувањето на III етажа, т.е. над +20 m се врши со багерот ЕШ-10/70.

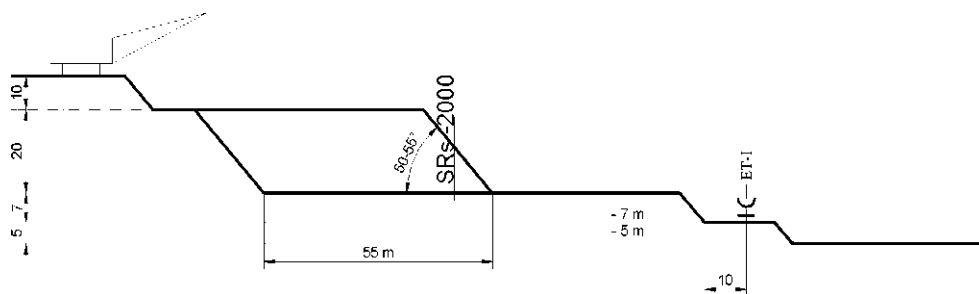
Технологијата на растоварување на основната етажа на системите т.е. на масите кои се над +20 m веќе се применува на ПК „Суводол“ и се има добиено солидно искуство.

Како што се гледа и од приложените технолошки шеми, растоварувањето се врши со примена на багерот-дреглајн ЕШ-10/70.

Багерите дреглајни зафаќаат блок од 45-70 m и откопаните маси ги префрлуваат на нивото на основната етажа, каде што истите се зафаќаат со роторниот багер.

Важно е растоварувањето секогаш да му претходи на откопниот блок на роторниот багер.

При работа со I БТО систем во принцип се применува шемата на откопување прикажана на следнава слика.



**Слика 33.** Шема на откопување со I БТО систем

**Figure 33.** Excavation scheme with I<sup>st</sup> ECS system

Максималната висина на откопување во висинскиот блок изнесува 20 m, ширината на блокот 55 m, а минималните агли на бочните косини за висина на

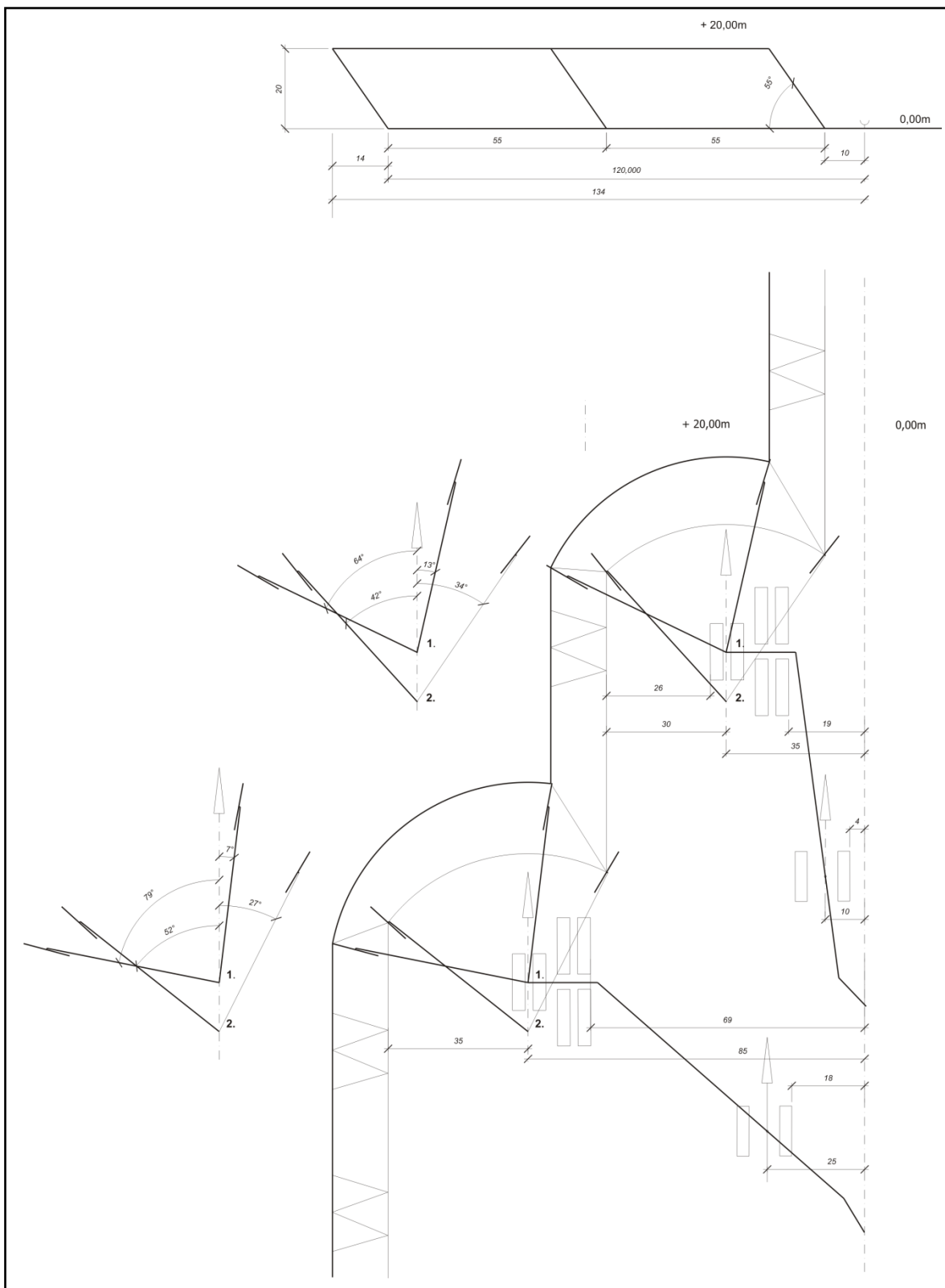


откопување од 20 m изнесуваат од  $45^{\circ} \div 50^{\circ}$ . Растојанието на етажната лента од косината на етажата изнесува 10 m.

#### **4.3. Технолошки шеми на откопување на јаловината во рудникот „Брод-Гнеотино“ со роторниот багер CPC -2000**

За роторниот багер SRs2000 - 32/5+VR се прикажани следниве технолошки шеми и слики за работа на багерот:

1. Работа на багерот SRs 2000 во висински блок од 20 (m);
2. Работа на багерот SRs 2000 во висински блок со подетажа од 4 (m);
3. Технолошка шема на работа на багерот CPC 2000 во длабински блок на нивелета на двата транспорта со -3 (m) во однос на транспортната лента;
4. Работа на багерот CPC 2000 во длабински блок на нивелета на транспорт -10 (m);
5. Отстапно - настапна работа на багерот CPC 2000;
6. Преминување од транспортер на транспортер, багер CPC 2000.



**Слика 34.** Работа на багерот CPC 2000 во висински блок од 20 (m)

**Figure 34.** Excavator's work (SRs- 2000) in 20 m high block



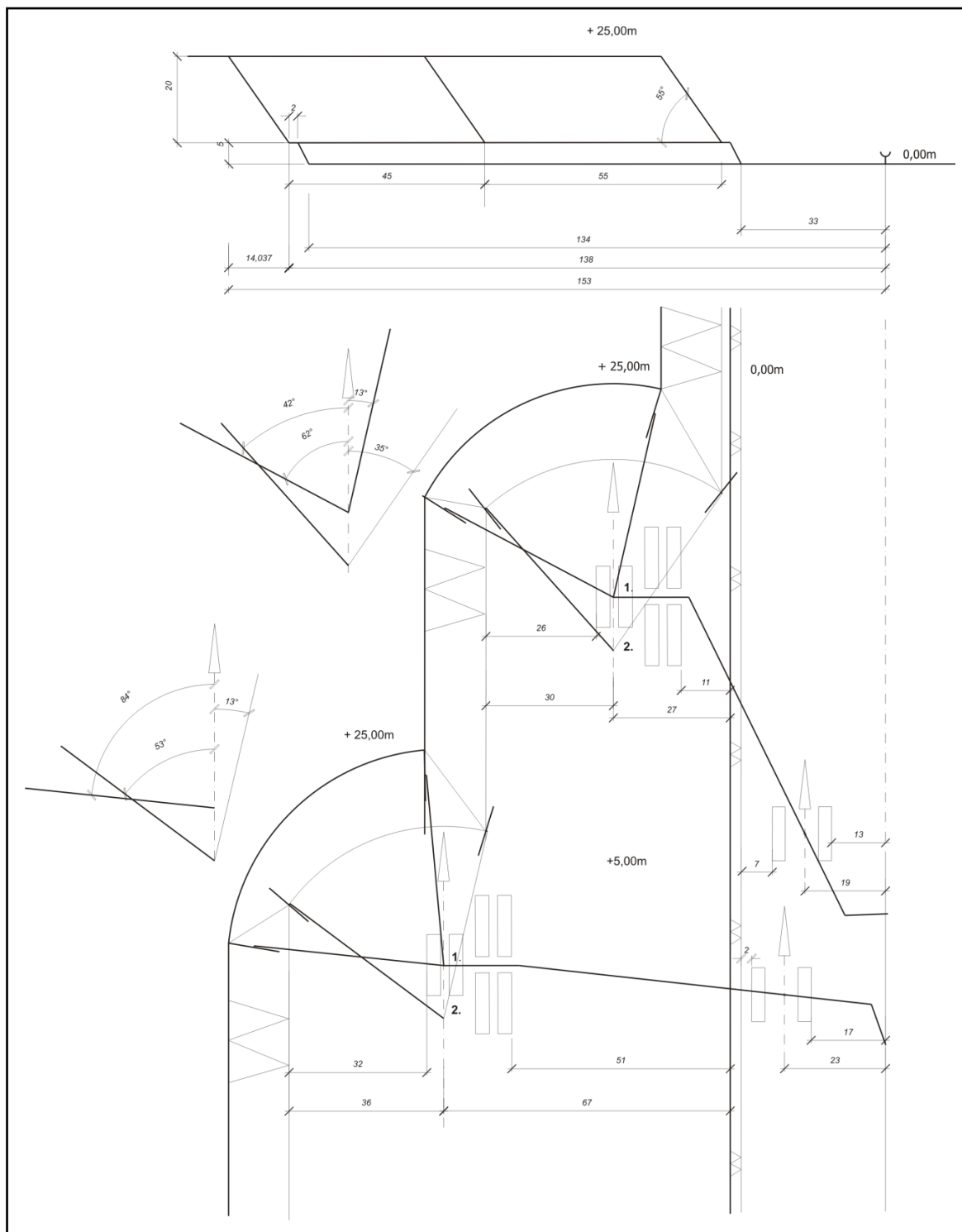
**Слика 35.** Работа на багерот CPC 2000 во висински блок од 20 (m)

**Figure 35.** Excavator's work (SRs- 2000) in 20m hight block

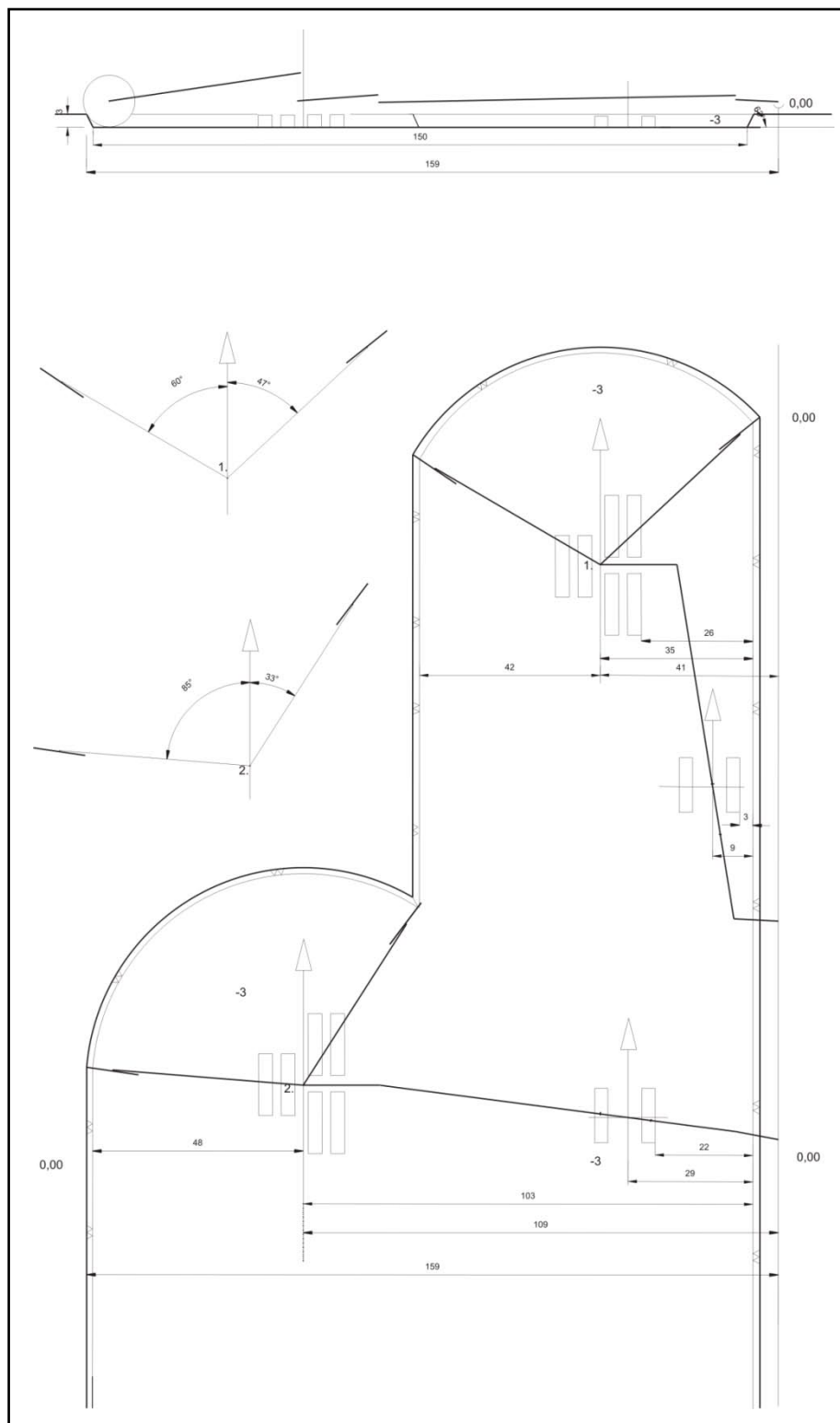


**Слика 36.** Работа на багерот CPC 2000 во висински блок од 20 (m)

**Figure 36.** Excavator's work (SRs- 2000) in 20 m hight block



**Слика 37.** Работа на багерот CPC 2000 во висински блок со подетажа од 4 (m)  
**Figure 37.** Excavator's work in high block with 4 m subfloor



**Слика 38.** Технолошка шема на работа на багерот CPC 2000 во длабински блок на нивелета на двата транспорта со -3 (m) во однос на транспортната лента

**Figure 38.** Technological scheme of excavator's work (SRs 2000) in deep block at -3 (m) height level of both transporters, compared to the transport bar



**Слика 39.** Работа на багерот CPC 2000 во длабински блок на нивелета на двата транспорта со -3 (м) во однос на транспортната лента

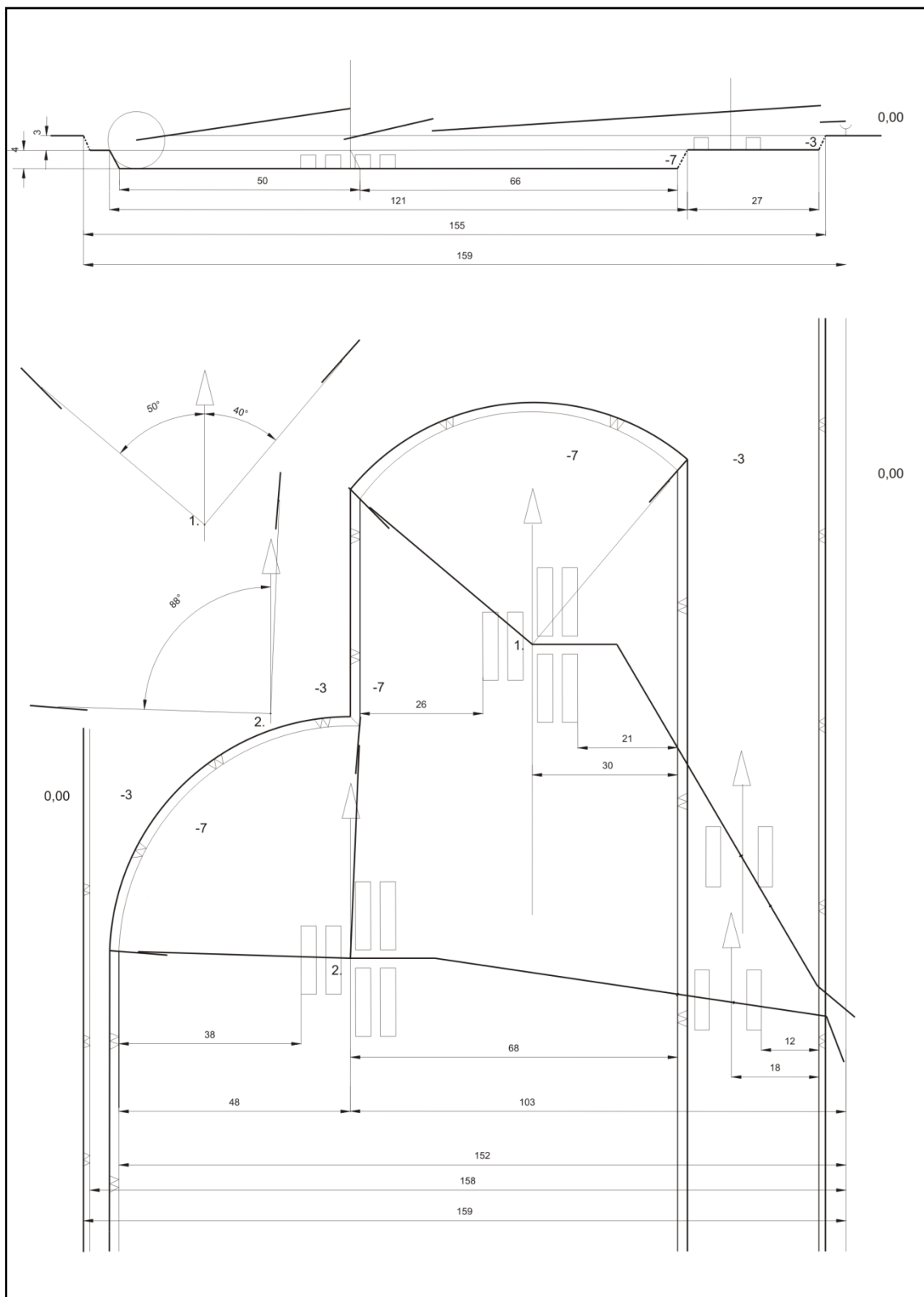
**Figure 39.** Excavators' work (SRs 2000) in deep block at -3(m) hight level of both transporters, compared to the transport bar





**Слика 40.** Кипање на претоварниот уред на пресипна количка при работа на багерот **СРС 2000** со -3 (м) во однос на транспортната лента

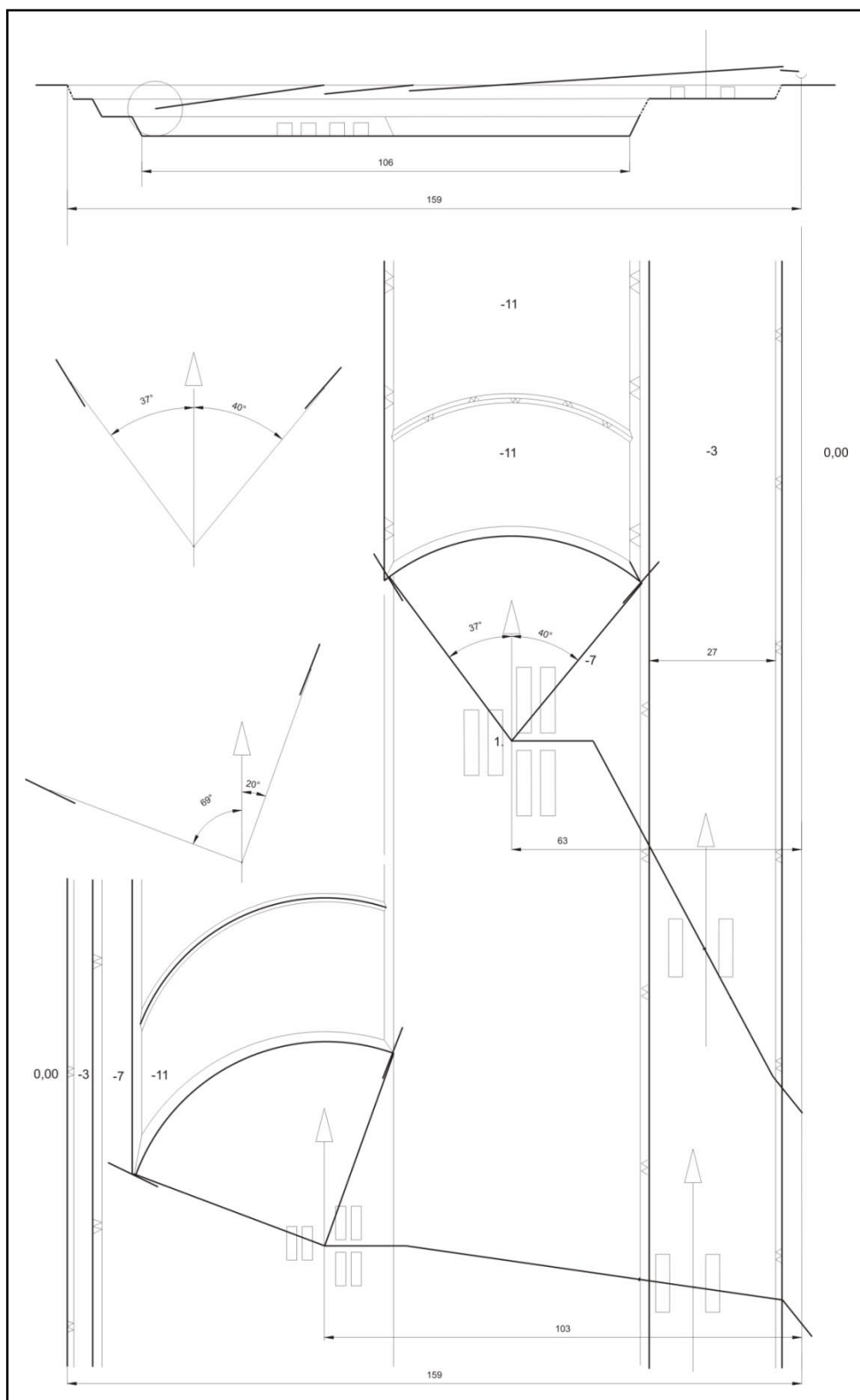
**Figure 40.** Spillage of the transfer device at transshipment cart. Excavator Srs-2000 works at -3m level to the transport bar



**Слика 41.** Работа на багерот СРС 2000 во длабински блок на ниво на големиот транспорт -10 (m)

**Figure 41.** Excavator SRs-2000 works in deep block at -10(m) level to the big transporte





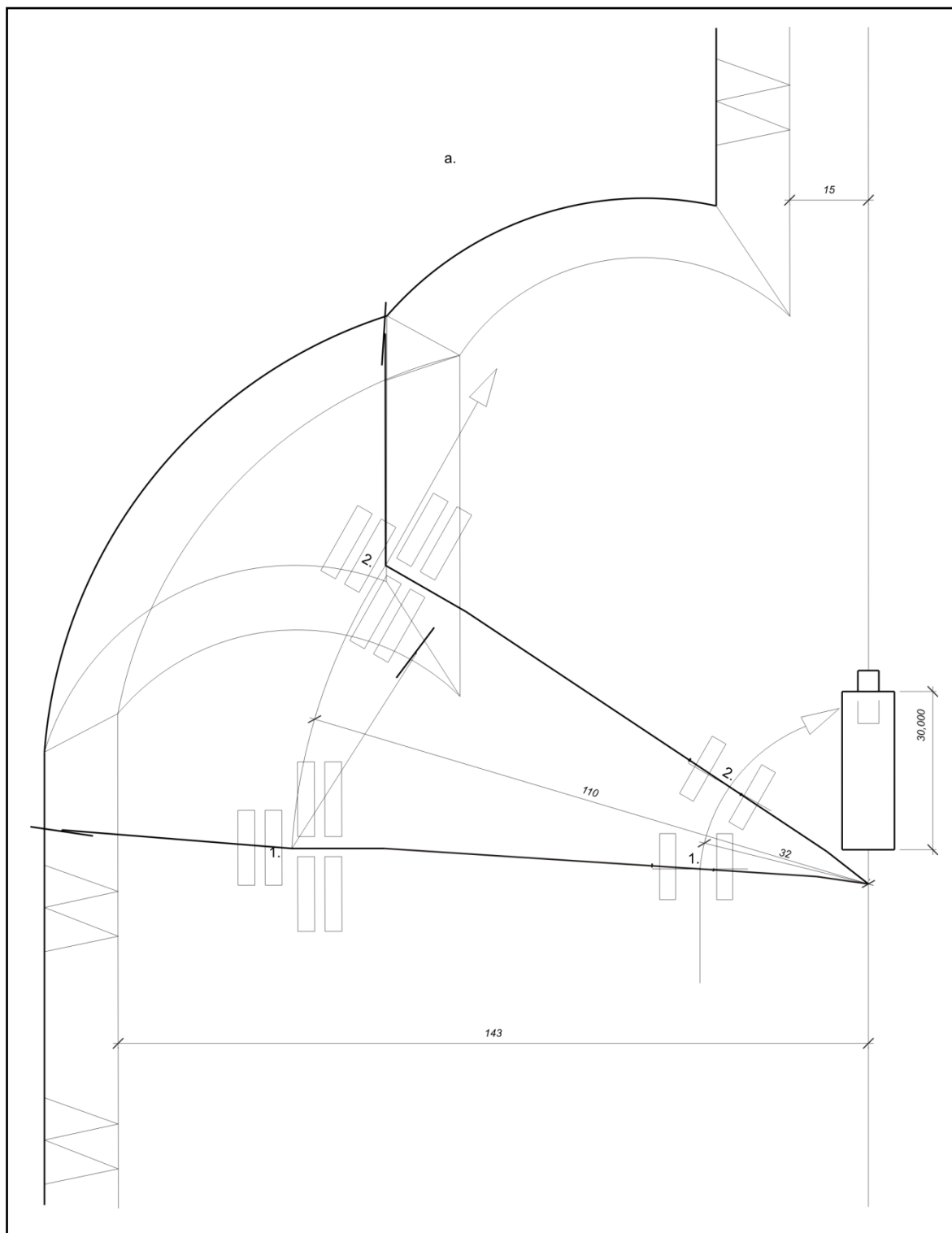
**Слика 42.** Отстапно-настапна работа на багерот CPC 2000

**Figure 42.** Escape - access work of excavator SRs-2000



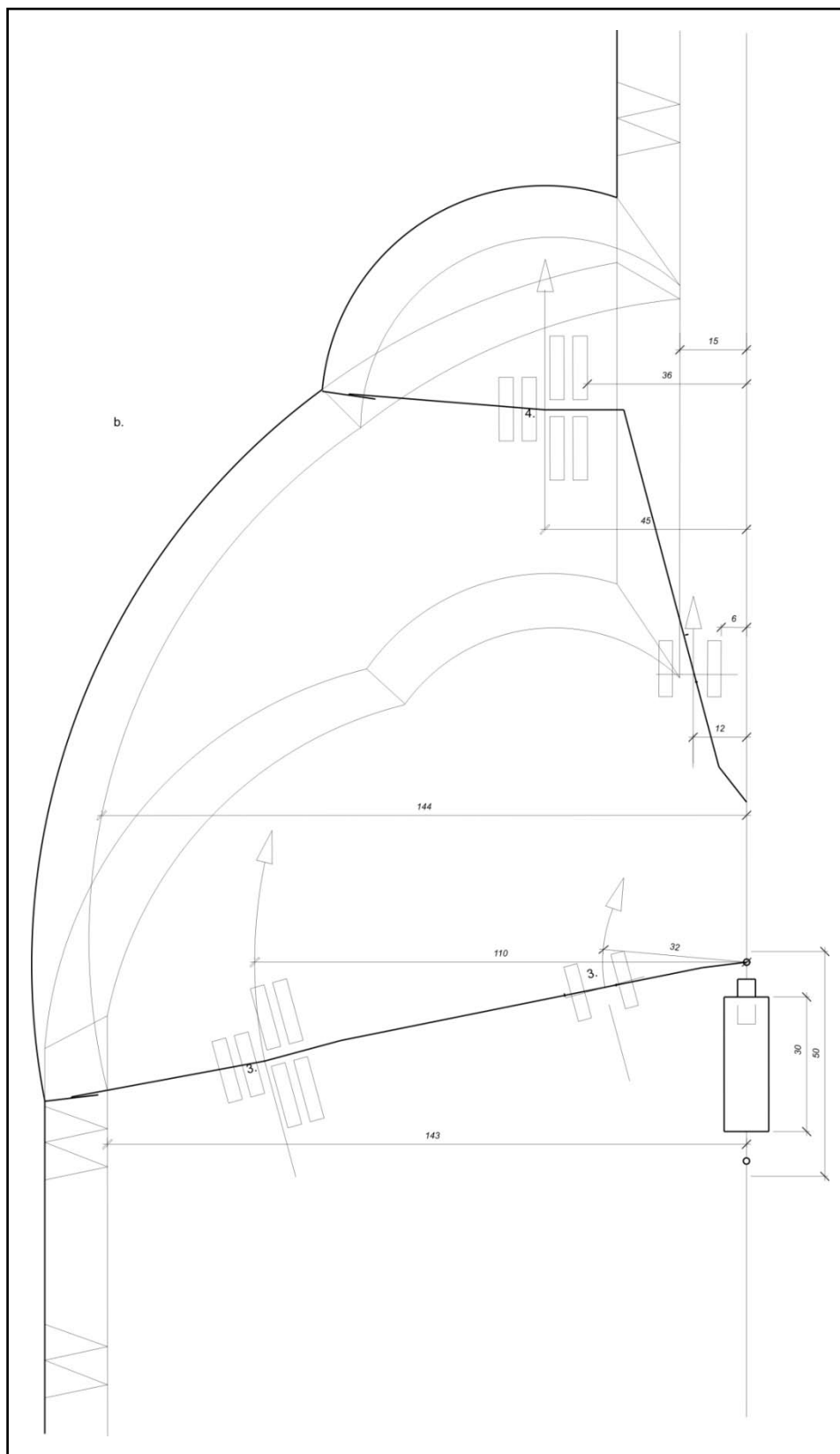
**Слика 42.** Отстапно-настапна работа на багерот CPC 2000

**Figure 42.** Escape - access work of excavator SRs-2000



**Слика 43.** Преминување од транспортер на транспортер

**Figure 43.** Transition from transporter to transporter



**Слика 44.** Преминување од транспортер на транспортер

**Figure 44.** Transition from transporter to transporter

## 5. ОПШТИ МЕТОДИ НА ОПТИМИЗАЦИЈА

Постојат голем број на оптимизациони методи и други квантитативни математички методи на операционите истражувања, кои можат да се применат во процесите на одлучување при планирањето во рударството. Од овој комплекс на методи, од позиција на примена, би можеле да се издвојат следниве групи на методи за моделирање:

- Модели на еднокритериумска оптимизација (на пример: линеарно програмирање, нелинеарно програмирање, динамичко програмирање итн.);
- Модели на повеќекритериумска оптимизација (на пример: метода ELECTRA, метода PROMETHEE, метода VIKOR, метода АНР и др.);
- Математичко-моделски оптимизациони пристапи развиени за решавање на специјални случаи при планирањето во рударството.

Математичко-моделските оптимизациони пристапи развиени за конкретни случаи при планирањето во рударството, во основа се релативно добри решенија, бидејќи истите се дефинирани за моделирање на реален идентифициран проблем. Оваа методологија е многу ефикасна, но и изразито сложена. Сложеноста се состои од големиот обем на подготвителни работи за дефинирање и разработка на математичкиот модел, кој може да се примени за решавање на одреден вид на проблем со релативно добра адаптивност за примена во слични случаи.

### 5.1. Општо за повеќекритериумската метода на оптимизација

Повеќекритериумската метода на оптимизација за разлика од еднокритериумската користи поголем број на критериуми (критериумски функции). Еднокритериумската метода на оптимизација користи само еден критериум во оптимизацијата, со што значително се намалува и реалноста на решавањето на проблемот. Зголемениот број на критериуми во моделите на повеќекритериумската оптимизација значат не само реализирање на моделирањето, туку и пред сè зголемување на веродостојноста во добиените резултати. Процесот на оптимизација е во директна субјективна врска со доносителот на одлуката, односно експертот. Големите број на критериуми

освен тоа што има свои предности, секако има и свои недостатоци. Недостатоците се предизвикани од големиот број на критериуми, од начинот на нивното дефинирање, дефинирањето на нивните влијанија, односно тежини во моделот, што од своја страна го прави овој процес на математичко моделирање комплексен. Дури и во денешни услови на развој на математиката како наука, не постои ниту една метода која би се карактеризирала со општост и моќност во решавањето на моделот.

Историски гледано, развојот на методите за повеќекритериумската оптимизација започнал со решавање на проблеми чекор по чекор, односно се развивале методи за конкретни проблеми. Со понатамошно истражување дошло до нивно обопштување и развивање во општи - формализирани методи за решавање на група или класи на проблеми. Методите на повеќекритериумската оптимизација можат да се класифицираат во две поголеми групи, и тоа:

- Методи на повеќекритериумско одлучување или попознато како повеќекритериумска анализа;
- Методи на повеќекритериумско одлучување.

Иако методите на повеќекритериумската оптимизација се доста сложени, сепак истите имаат некои заеднички карактеристики, како што се:

- ✓ голем број на критериуми (ги креира донесителот на одлуката),
- ✓ постоење на конфликтност помеѓу критериумите,
- ✓ секој критериум има своја единица мерка и тежина (ретки се случаите кога овој услов не е исполнет),
- ✓ субјективност во оптимизацијата (влијанието на донесителот на одлуката),
- ✓ решенијата на овие видови на проблеми се:
  - избирање на најдобри акции (алтернативи) или
  - избор на најдобра акција од множество на претходно дефинирани конечни акции.

Компаративна анализа на основните карактеристики на двата типа на методи на повеќекритериумска оптимизација се дадени во табела 3.

**Табела 4.** Компаративна анализа на основните карактеристики на двете методи на оптимизација

**Table4.** Comparative analysis of the basic features of the two methods of optimization

Карактеристики Features	Методи на повеќекритериумско одлучување methods of multiple attribute decision making	Методи на повеќекритериумско одлучување methods of multiple targets decision making
Критериум Criteria	Атрибути Attributes	Цели Targets
Цел Target	Слабо дефиниран Poorly defined	Добро дефиниран Well-defined
Атрибут Attribute	Добро дефиниран Well-defined	Слабо дефиниран Poorly defined
Ограничувања Restrictions	Вклучени во атрибутите Included in attributes	Активни Active
Активности Activities	Дискретни (конечни) Discrete	Континуирани (бесконечни) Continued
Меѓусебна зависност Interdependence	Не е изразена Not expressed	Силно изразена Strongly expressed
Примена Application	При процеси на избор, вреднување, проектирање и планирање In the process of selection, evaluation, design and planning	При проектирање и планирање When designing and planning

### 5.1.1. Методи на повеќекритериумно одлучување

Основниот елемент во методите со повеќекритериумно одлучување е атрибутот. Секој атрибут треба да обезбеди средство на евалуација, односно оцена за нивото на еден критериум, односно цел. По правило поголем број на атрибути треба да ја карактеризира секоја акција посебно. Тие се базирани врз основа на избраните критериуми од страна на доносителот на одлуката. Како синоними за атрибутите се користат: фактори, параметри, карактеристики, особини, компоненти, перформанси и сл.

Основен начин за прикажување на проблемите при повеќекритериумното одлучување е матричниот облик. Односно, матрицата на одлучување  $O_{m \times n}$  чии елементи  $x_{ij}$  ја означуваат вредностите на  $i$ -та акција  $a_i$ , во однос на  $j$ -от атрибут  $A_j$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m, j = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

$$O = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Акциите во проблемите на повеќекритериумната оптимизација се опишуваат со два вида на атрибути:

- квантитативно;
- квалитативно.

Проблемите кои се јавуваат се настанати од сложеноста на компарацијата на овие два вида на атрибути, како и третманот на различните единици мерки.

Во основа постојат три вида на скали кои можат да се користат при мерењето на различни квантитети (Hwang и Yoon, 1981), и тоа:

- редна (ординарна) скала;
- скала на интервали;
- скала на односи.

**Редната (ординарна) скала** ги рангира мерените акции без да води сметка за релативните растојанија помеѓу ранговите.



**Скалата на интервали** рангира акции со меѓусебни еднакви интервали и ги дефинира разликите помеѓу нив и некој однапред дефиниран репер.

За разлика од скалата на интервали, **скалата на односи** ги дефинира разликите помеѓу акциите и некој репер кој однапред не е дефиниран.

Најголемиот број на методи при повеќекритериумното одлучување ги користат редната и интервалната скала.

Потребата од повеќекритериумното одлучување условила брз и континуиран развој на методите од оваа област. Поради тоа, денес се располага со еден огромен број на методи, кои се способни да ги решат разните сложени проблеми од повеќекритериумната оптимизација.

#### 5.1.1.1. Трансформација на квалитетите на атрибути

Трансформацијата на квалитетите на атрибутите е една од поважните особини на повеќекритериумната оптимизација. Имено, ако квалитетите на атрибутите се дадени во описна форма, потребно е нивна трансформација во нумерички (бројчени). Постојат повеќе скали за трансформација на квалитетите на атрибутите. Трансформирањето на квалитетите на атрибутите е процес кој го изведува донесителот на одлуките. За трансформацијата на квалитетите на атрибути во вредности, на пример во интервали на скала, најчесто се користи т.н. биполарна скала. Имено, се избира скала со 10 точки, 1 - та се доделува на најниското ниво а 10 на највисокото.

Друг начин на трансформација на квалитативните атрибути е нормализација на атрибутите:

- векторска нормализација - секој вектор на одлучувањето се дели со својата норма, при што нормализираната вредност  $n_{ij}$  е:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

Предноста на овој начин на трансформација на квалитетите на атрибутите е во тоа што истите можат да се изразат со мери кои имаат свои единици.

- линеарна скала - резултатот (излезот) од некој критериум се дели со неговата максимална вредност, односно:

$$I_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad u = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

Логично е да вредностите  $I_{ij}$  се движат во интервалот  $[0,1]$ , а поповелен е оној резултат кој се доближува до 1.

Како еден од посовремените начини за трансформација на квалитетите на атрибутите е т.н. трансформација на фази (нејасни) атрибути. Овде се користи методологијата од теоријата на „фази множества“ (Задех, 1965). Основата на оваа теорија е следната:

Нека множеството  $A$  е подмножество на множеството  $E$ , односно:

$$A \subset E$$

нека  $x$  е елемент од множеството  $A$ :

$$x \in A$$

Наместо наведениот начин за означување на припадноста на елементот  $x$  во множеството  $A$  може да се користи т.н. поим на карактеристични функции на множеството  $A$  со ознака  $\mu_A(x)$ , чии вредности покажуваат дали  $x$  е елемент од множеството  $A$ , односно ќе важи:

$$\begin{aligned} \mu_A(x) &= 1, & \text{ako } x \in A \\ \mu_A(x) &= 0, & \text{ako } x \notin A \end{aligned}$$

Да претпоставеме дека карактеристичната функција на множеството  $A$  може да ја има која било вредност од интервалот  $[0,1]$ . Тогаш  $x_i$  од  $E$  не мора да биде елемент на множеството  $A$  ( $\mu_A(x_i)=0$ ), може да биде „слаб“ елемент на  $A$  ( $\mu_A$  е близу нула), може да биде „помалку“ или „повеќе“ елемент на множеството  $A$  ( $\mu_A$  е околу средината на интервалот  $[0,1]$  и конечно  $x_i$  е „силен“ елемент на  $A$  ( $\mu_A$  е близу 1).

Користејќи го наведениот пристап може да се дефинира поимот фази множество и тоа на следниов начин:

Нека  $E$  е множество, а  $x$  е елемент од множествот  $E$ . Тогаш фази подмножество  $A$  на множеството  $E$  е множество на подредените парови за кои важи:

$$A = \{(x, \mu_A(x))\} \quad \forall x \in E$$

каде што  $\mu_A(x)$  е степен на членство на  $x$  во  $A$ .

Така ако  $\mu_A(x)$  ја земе својата вредност во множество  $M$  (множество на членови), може да се констатира дека  $x$  ја зема вредноста на  $M$  преку функцијата  $\mu_A(x)$ , која поради тоа се нарекува *функција на членство*.

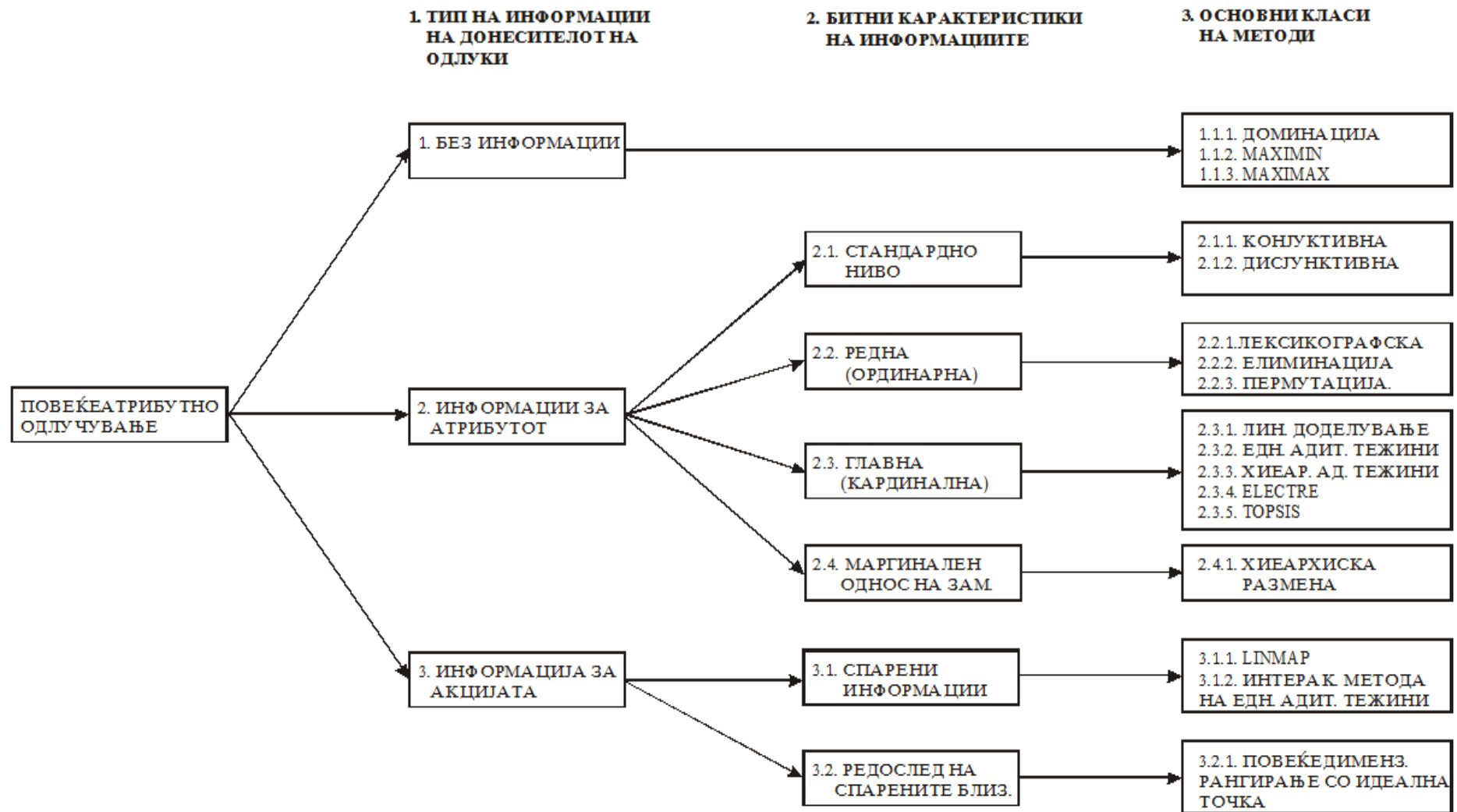
Во случаите на повеќекритеријалната оптимизација, кога за дефинирање на атрибутите се потребни информации за нивното поединечно релативно значење преку доделување на тежини на конкретното множество на  $n$  критериуми, множеството на тежини е:

$$t^T = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_j, \dots, t_n) \quad \sum_{j=1}^n t_j = 1$$

#### 5.1.1.2. Методи на повеќекритеријално одлучување

Потребата од повеќекритеријалното одлучување условила брз и континуиран развој на методите од оваа област. Поради тоа, денес се располага со еден огромен број на методи кои се способни да ги решат разните сложени проблеми од повеќекритеријалната оптимизација.

Повеќемина автори имаат направено класификација на методите на повеќекритеријалното одлучување. Сепак, најдобар преглед на овие методи дале Hwang и Yoon (1981), преку нивната класификација на методите на повеќекритеријалното одлучување (сл. 3.1.).



**Слика 45.** Класификација на методите на повеќекритериумното одлучување

**Figure 45.** Classification of methods of multi attributes decision making

### 5.1.2. Методи на повеќецелно одлучување

Покрај повеќекритериумното одлучување, повеќецелното одлучување е втората голема група на методи за повеќекритериумска оптимизација.

Во основа сите методи на повеќецелното одлучување ги имаат следните заеднички карактеристики:

- множество на цели кои можат да бидат квантифицирани;
- множество на добро дефинирани активни ограничувања;
- множество на континуирани (бесконечни) активности;
- процес за добивање на информации (експлицитни или имплицитни) за идентифицираните цели (кои не се квантифицирани).

Општа математичка формулација на проблем со повеќецелно одлучување, најчесто се претставува во следниов облик:

$$\max \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x), p \geq 2\}$$

$$g_i(x) < 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x \geq 0$$

Каде се:

$n$  – број на променливи,  $j = 1, 2, \dots, p$ ;

$p$  – број на функции на критериуми,  $k = 1, 2, \dots, p$ ;

$m$  – број на ограничувања;

$g_i(x)$  – ограничувања,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Во основа, под поимот повеќецелно одлучување се подразбира максимизација на функцијата на критериумот при дадени ограничувања. Од причина што критериумите на минимизација можат да се преведат во критериуми на максимизација, на пример за  $s$ -ти критериум важи:

$$\min f_s(x) = -\max\{-f_s(x)\}, \quad s \in \{1, 2, \dots, p\}$$

Кога сите функции и ограничувања се од линеарен облик (на пример, нека се со знак “ $\leq$ ”), моделот на повеќецелното одлучување го има следниов облик:

$$\max\{f_k(x) = \sum_j c_{kj}x_j, \quad k = 1, 2, \dots, p; \quad p \geq 2\}$$

$$\sum_j a_{ij}x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Каде се:

$f_k(x)$  – функција на критериумот,  $k = 1, 2, \dots, p$ ;

$x$  –  $n$ -димензионален вектор на променливи  $x_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

$c_{kj}$  – коефициент на  $k$ -та функција за  $j$ -та променлива,  $k = 1, 2, \dots, p$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

$a_{ij}$  – параметар во  $i$ -то ограничување за  $j$ -та променлива,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

$b_i$  – слободен член во  $i$ -то ограничување,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

## 5.2. Методи за повеќекритериумска оптимизација кои се најчесто применувани

Овде се издвоени најкарактеристичните методи за повеќекритериумска оптимизација и тоа: метода AHP, метода VIKOR, групата на методи ELECTRA, и групата на методи PROMETHEE. Инаку истите спаѓаат во групата на методи од повеќекритериумското одлучување.

**Метода VIKOR** - Оваа метода е претставена од страна на Opricovic (1995). Името го добила од изразот *Visekriterijumskog Kompromisnog Rangiranja (VIKOR)*, односно во превод *повеќекритериумско компромисно рангирање*. Повеќекритериумското рангирање со методата VIKOR се изведува на основа на мерата на секоја алтернатива. Методата VIKOR предлага како повеќекритериумски најдобра алтернатива со дадена тежина, онаа која е на првата позиција на компромисната ранг-листа, под услов ако се исполнети следниве два услова:

- алтернативата да има „доволна“ предност над алтернативата на наредната позиција;

- алтернативата да има „доволно“ стабилна прва позиција со промена на вредноста на тежината, а стратегија на задоволување на мнозинството на критериуми.

Конечни резултати на методата VIKOR (ранг-листа) се следниве:

- компромисна ранг-листа - исполнети и двата услова;
- множество на компромисни решенија - неисполнет еден од условите.

**Метода АНР** - Методата на аналитички хиерархиски процеси е развиена од страна на Saaty (1980). Методата АНР е една од класичните методи на повеќекритериумската оптимизација, која дозволува решавање на изразено комплексни проблеми со голем број на допуштени области, огромен број на критериуми и повеќестрани временски периоди. Областите на примена на методата АНР е повеќекритериумското оптимизирање и одлучување врз основа на дефинирано множество на критериуми и алтернативи, при што се врши избор на најприфатлива алтернатива, односно се прикажува потполн поредок на значенија на алтернативите во моделот. Во основа, примената на методата АНР се состои во следниве четири фази:

- Структурирање на проблемот;
- Собирање на податоци;
- Оценување на релативните тежини;
- Одредување на решенија на проблемот.

**Метода ELECTRA** - Под поимот метода ELECTRA се подразбира множество на методи за решавање на проблеми од повеќекритериумската оптимизација. Името ELECTRA е добиено од англискиот израз *Elimination and et choise translating reality*, што во превод значи *елиминација и реален преносен избор*. Оваа метода за прв пат ја презентирал Roy во 1971 год. Денес постојат повеќе варијанти на оваа метода. Најпознати се варијантите ELECTRA I, ELECTRA II, ELECTRA III и ELECTRA IV. Најнови и неодамна развиени варијанти се ELECTRA IS и ELECTRA TRI. Најмногу применувана варијанта (метода) е токму основната ELECTRA I, со која се врши делумно рангирање на алтернативите.

Методата ELECTRA II се користи во случаи на потполно рангирање на множеството на алтернативи. Оваа група на методи овозможува рангирање на

множество решенија за дискретни проблеми и за разнородни критериумски функции. Моделите вклучуваат субјективни проценки, како преку вредностите на критериумските функции, така и преку релативните значења на поединечните критериуми. ELECTRA III, ELECTRA IV и останатите се т.н. методи од „висок“ ранг.

**Метода PROMETHEE** - Методата PROMETHEE е една од поновите методи во областа на повеќекритериумската оптимизација, при што е развиена во следниве варијанти и тоа: PROMETHEE I, PROMETHEE II, PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V, и како понови верзии PROMETHEE VI, PROMETHEE GDSS и PROMETHEE-GAIA. Името PROMETHEE го добила од англискиот израз *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*, што во превод значи *метода на преферентно организационо рангирање за дофатни вреднувања*. Основите на методите PROMETHEE ги дале J. P. Brans (1984), J. P. Brans и B. Marschal (1984), J. P. Brans и P. Vincke (1985) и B. Marschal (1985).

PROMETHEE I дава можност за делумен поредок на алтернативите. За разлика од методата PROMETHEE I, методата PROMETHEE II дава потполн поредок. Со методата PROMETHEE III се обезбедува рангирање во соодветните интервали и конечно со методата PROMETHEE IV се врши повеќекритериумска оптимизација на непрекината низа на алтернативи. Методата PROMETHEE V, PROMETHEE VI и останатите се релативно нови и недоволно тестирани методи.

Основните предности на методата PROMETHEE во однос на останатите методи, а пред сè во однос на методата ELECTRA се следниве:

- голема едноставност;
- со воведувањето на генерализираните критериумски функции се намалува субјективноста во одлучувањето;
- параметрите коишто се користат имаат свое економско објаснување и значење;
- придружните ефекти од рангирањето се потполно елиминирани.



### 5.2.1. Метода PROMETHEE I и PROMETHEE II

Основната карактеристика на методата PROMETHEE II - потполното рангирање на алтернативите ја класифицира оваа метода како една од најприфатливите методи за решавање на проблемите на повеќекритериумската оптимизација. Треба да се има предвид дека методата PROMETHEE II во однос на методата PROMETHEE I се разликува само во некои постапки со кои по парцијалното рангирање би се утврдил потполниот поредок на алтернативите.

Како и во останатите повеќекритериумски оптимизациони методи и кај методите PROMETHEE можно е посебно дефинирање на соодветните тежини за критериумите. Основна карактеристика на оваа метода претставува користењето на шест т.н. генерализирани критериуми (обичен критериум, квази критериум, критериум со линеарна преференција, ниво на критериум, критериум со линеарна преференција и подрачје на индиферентност и Гаусов (Gauss) критериум) за дефинирање на преференците на доносителот на одлуката, за конкретните критериуми на поставениот проблем. Доносителот на одлуката може да воведо нови типови на генерализирани критериуми и да ги искаже своите преференци во однос на соодветните критериуми. Во продолжение се дадени основите на методата PROMETHEE.

#### **Фаза А. Дефинирање на моделот на повеќекритериумската оптимизација**

Дефинирање на конкретниот модел на повеќекритериумската оптимизација со вредностите за секој  $j$ -ти критериум за секоја  $i$ -та алтернатива  $f_j(A_i)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ . На секој критериум  $f_j$  треба да му се придружи соодветен тежински коефициент  $w_j$  и тип на генерализираниот критериум  $g_j$  со потребните параметри,  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ . Со помош на шесте генерализирани типови на критериуми може да се опфатат најголемиот број на реални случаи. Тежините на критериумите не мораат да бидат нормализирани. Во случај на критериуми со исто значење, се смета дека тежините имаат вредност  $w = 1$  за случај на максимизација, односно  $w = -1$  за случај на минимизација.

## Фаза В. Дефинирање на проценетиот (фази) граф од повисок ранг

Во оваа фаза се врши одредување на вредноста на функцијата на преференција  $p_{isj} = P_j(A_i, A_s)$ , во зависност од типот на генерализираниот критериум за секој пар на алтернативи  $(A_i, A_s)$  и секој критериум  $f_j$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $s = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $i \neq s$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ). При ова се врши дефинирање на потребните параметри  $(q_j, r_j, \sigma_j)$ . Одредување на функцијата на преференција на алтернативата  $A_i$  во однос на алтернативата  $A_s$  за критериум  $f_j$  од типот на максимизација се врши според релацијата.

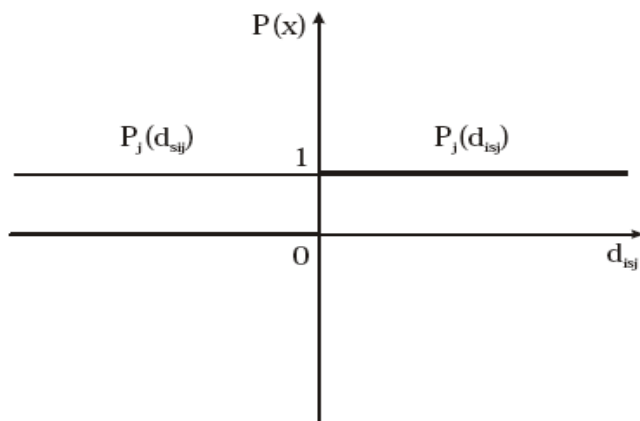
$$p_{isj} = P(A_i, A_s) = \begin{cases} 0, & \text{ako } f_j(A_i) \leq f_j(A_s) \\ P_j(d_{isj}), & \text{ako } f_j(A_i) > f_j(A_s) \end{cases}$$

Каде:

$$d_{isj} = f_j(A_i) - f_j(A_s) \quad \text{за секое } i, s, j$$

Генерализираните типови на критериуми, потребните параметри и индексите на преференција се прикажани во продолжение.

### Тип I. Обичен критериум

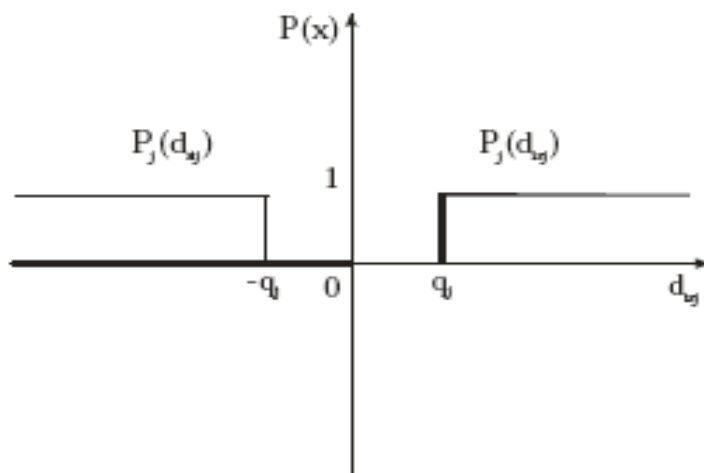


**Слика 46.** Функција на преференција за тип на критериум I

**Figure 46.** Function of preference for type of criteria I

$$P_j(d_{isj}) = \begin{cases} 0, & \text{за } d_{isj} = 0 \\ 1, & \text{за } d_{isj} > 0 \end{cases}$$

## Тип II. Квази критериум

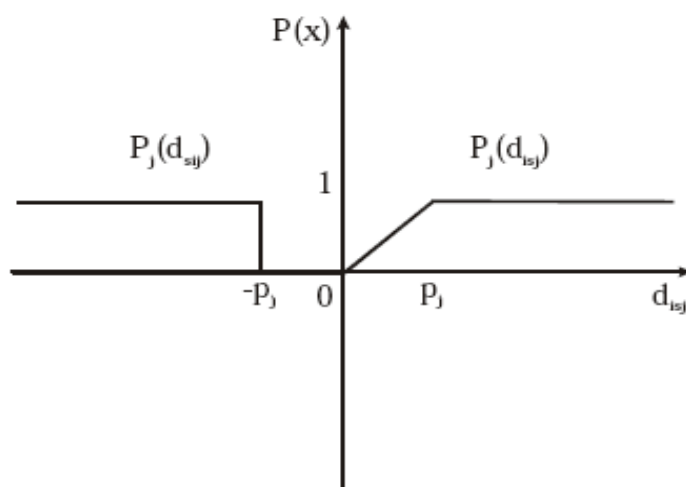


**Слика 47.** Функција на преференција за тип на критериум II

**Figure 47.** Function of preference for type of criteria II

$$P_j(d_{isj}) = \begin{cases} 0, & \text{за } d_{isj} \leq q_j \\ 1, & \text{за } d_{isj} > q_j \end{cases}$$

## Тип III. Критериум со линеарна преференца

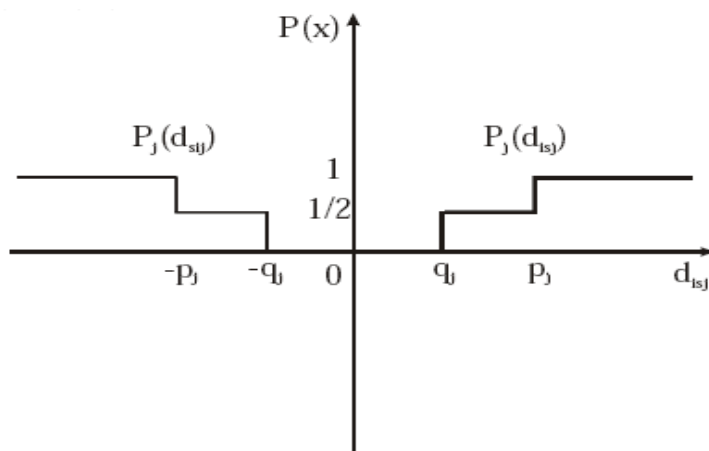


**Слика 48.** Функција на преференција за тип на критериум III

**Figure 48.** Function of preference for type of criteria III

$$P_j(d_{isj}) = \begin{cases} 0, & \text{за } d_{isj} \leq 0 \\ d_{isj} / p_j, & \text{за } 0 < d_{isj} \leq p_j \\ 1 & \text{за } d_{isj} > p_j \end{cases}$$

#### Тип IV. Ниво критериум

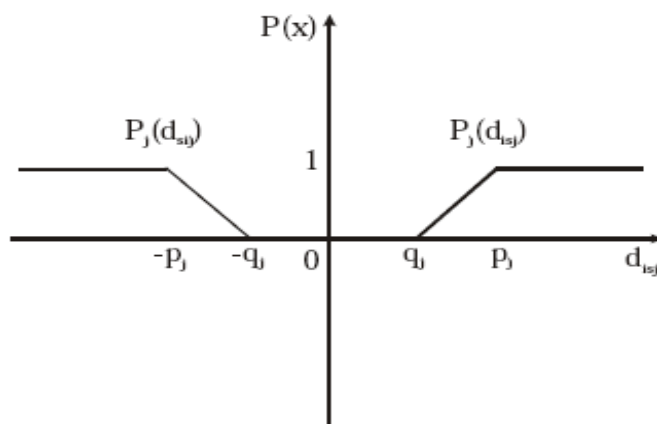


**Слика 49.** Функција на преференција за тип на критериум IV

**Figure 49.** Function of preference for type of criteria IV

$$P_j(d_{isj}) = \begin{cases} 0, & \text{за } d_{isj} \leq q_j \\ 1/2, & \text{за } q_j < d_{isj} \leq p_j \\ 1 & \text{за } d_{isj} > p_j \end{cases}$$

#### Тип V. Критериум со линеарна преференца и област на индиференција

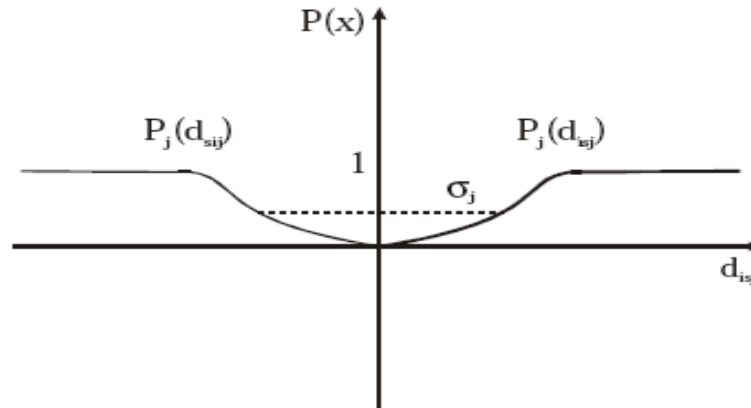


**Слика 50.** Функција на преференција за тип на критериум V

**Figure 50.** Function of preference for type of criteria V

$$P_j(d_{isj}) = \begin{cases} 0, & \text{за } d_{isj} \leq q_j \\ (d_{isj} - q_j) / (p_j - q_j), & \text{за } q_j < d_{isj} \leq p_j \\ 1 & \text{за } d_{isj} > p_j \end{cases}$$

### Тип VI. Гаусов критериум



**Слика 51.** Функција на преференција за тип на критериум VI

**Figure 51.** Function of preference for type of criteria VI

$$P_j(d_{isj}) = \begin{cases} 0, & \text{за } d_{isj} = 0 \\ 1 - e^{-d^2 / 2\sigma^2}, & \text{за } d_{isj} > 0 \end{cases}$$

Од графиконите на функциите се гледа дека симетричноста на функциите за пар на алтернативи  $A_i$  и  $A_s$  при споредувањето  $(A_i, A_s)$  и обратно  $(A_s, A_i)$ , односно важи:

$$Disj = -d_{sj}$$

$$P_j(d_{isj}) = -P_j(d_{isj})$$

### Фаза С. Дефинирање на индексот на преференции

Дефинирањето на индексот на преференции се врши за секој пар алтернативи  $(A_i, A_s)$ , со дадена мера на преференција  $A_i$  спрема  $A_s$  во вкупниот износ и со вклучување на карактеристиките на одделите критериуми (тип, параметри, тежински коефициенти),  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $s = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $i \neq s$ .

$$\pi_{is} = \Pi(A_i, A_s) = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_j(A_i, A_s) & \text{kriter. so ista va`nost} \\ \sum_{j=1}^n P_j(A_i, A_s) & \text{kriter. imaat te`ini } w_j \end{cases}$$

За анализа може да се користи и поимот проценет графикон од висок ранг, односно графикон чии јадра се допуштените алтернативи. За секој пар  $(A_i, A_s)$  соодветниот лак има вредност на нивниот индекс на преференција  $\pi_{is}$ .

#### Фаза D. Одредување на влезен, излезен и нето тек

Во проценетиот графикон од висок ранг се одредува влезниот и излезниот тек за секое јадро. Притоа се разгледуваат индексите на преференција на јадрата за алтернативата  $A_i$  во однос на останатите јадра на алтернативата  $A_s$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $s = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $i \neq s$ . Нето тек е разлика помеѓу влезниот и излезниот тек. Во продолжение се дадени математичките формулации на овие поими:

Влезен тек на јадрата на алтернативата  $A_i$ :

$$\Phi^+(A_i) = \sum_{s=1}^m \pi_{is} \text{ за } i = 1, 2, 3, \dots, m; s = 1, 2, 3, \dots, m; i \neq s$$

Излезен тек на јадрата на алтернативата  $A_i$ :

$$\Phi^-(A_i) = \sum_{s=1}^m \pi_{is} \text{ за } i = 1, 2, 3, \dots, m; s = 1, 2, 3, \dots, m; i \neq s$$

Нето тек на јадрата на алтернативата  $A_i$ :

$$\Phi(A_i) = \Phi^+(A_i) - \Phi^-(A_i) \text{ за } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Со анализа е утврдено колку е поголем излезниот тек, толку алтернативата  $A_i$  доминира над останатите алтернативи, а колку што е помал влезниот тек толку е и помал бројот на останатите алтернативи што доминираат над  $A_i$ . Кај нето текот важи: колку е поголем, толку алтернативата  $A_i$  има повисок ранг во поредокот.

## ❖ МЕТОДА PROMETHEE I

Досега образложеното за методата PROMETHEE се однесуваше за сите варијанти на оваа метода. Во продолжение се дадени специфичностите на варијантата PROMETHEE I, односно фазата E-I (I - се однесува на варијантата на методата PROMETHEE I).

### Фаза E-I. Дефинирање на делумен поредок на алтернативите

Најнапред се дефинираат првите два потполни поредока на алтернативите  $(P^+, I^+)$  и  $(P^-, I^-)$ :

$$\begin{cases} A P^+ B & \text{ako } \Phi^+(A) > \Phi^+(B) \\ A P^- B & \text{ako } \Phi^-(A) < \Phi^-(B) \end{cases}$$

Изразот  $AP^+B$  значи дека алтернативата A преферира над алтернативата B по влезниот тек, односно изразот  $AP^-B$  значи дека алтернативата A преферира над алтернативата B по излезниот тек.

$$\begin{cases} A I^+ B & \text{ako } \Phi^+(A) = \Phi^+(B) \\ A I^- B & \text{ako } \Phi^-(A) = \Phi^-(B) \end{cases}$$

Изразот  $AI^+B$  значи дека алтернативите A и B се индиферентни меѓусебе спрема влезниот тек и  $AI^-B$  - алтернативите A и B се индиферентни меѓусебе спрема излезниот тек. Пресеците на овие два потполни поредока ги одредуваат делумните поредоци на алтернативите  $(P^I, I^I, R)$ :

$$A \text{ ima pogolem rang od } B \left\{ (A P^I B) \text{ ako } \begin{cases} A P^+ B \wedge A P^- B \\ A P^+ B \wedge A I^- B \\ A I^+ B \wedge A P^- B \end{cases} \right.$$

$$A \text{ indifereent na } B \left\{ (A I^I B) \text{ ako } \begin{cases} A I^+ B \wedge A I^- B \end{cases} \right. .$$

$$A \text{ i } B \text{ ne se spored. } \left\{ (A R B) \text{ ako } \begin{cases} \text{vo site } \text{ost. } \text{slu } \sim \text{ai} \end{cases} \right. .$$

На овој начин се одредува делумната релација помеѓу алтернативите, односно е извршено делумно рангирање во случаите кога алтернативите се споредливи (постои дури и можноста некои од алтернативите да не се споредливи).

## ❖ МЕТОДА PROMETHEE II

Специфичностите на методата PROMETHEE II се дадени во фазата E-II.

### **Фаза E-II. Одредување на поредок на сите алтернативи - рангирање на алтернативите**

Рангирањето на алтернативите се врши врз основа на нето текот. При разгледувањето на секој пар на алтернативи  $(A_i, A_s)$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, m$ ;  $s = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $i \neq s$ ; постои само една од две можности:

$A_i$  има повисок ранг од  $A_s$        $(A_i P^I A_s)$     ако е     $F(A_i) > F(A_s)$

$A_i$  е индиферента со  $A_s$        $(A_i I A_s)$     ако е     $F(A_i) = F(A_s)$

Во случаите кога постојат индиферентни алтернативи  $A_i$  и  $A_s$  се формираат варијанти на ранг-листи на сите алтернативи со комбинирање на положбата на паровите на индиферентните алтернативи на листата (еднаш  $A_i$  пред  $A_s$ , вторпат  $A_s$  пред  $A_i$ ).

## **5.3. Изработка на моделот**

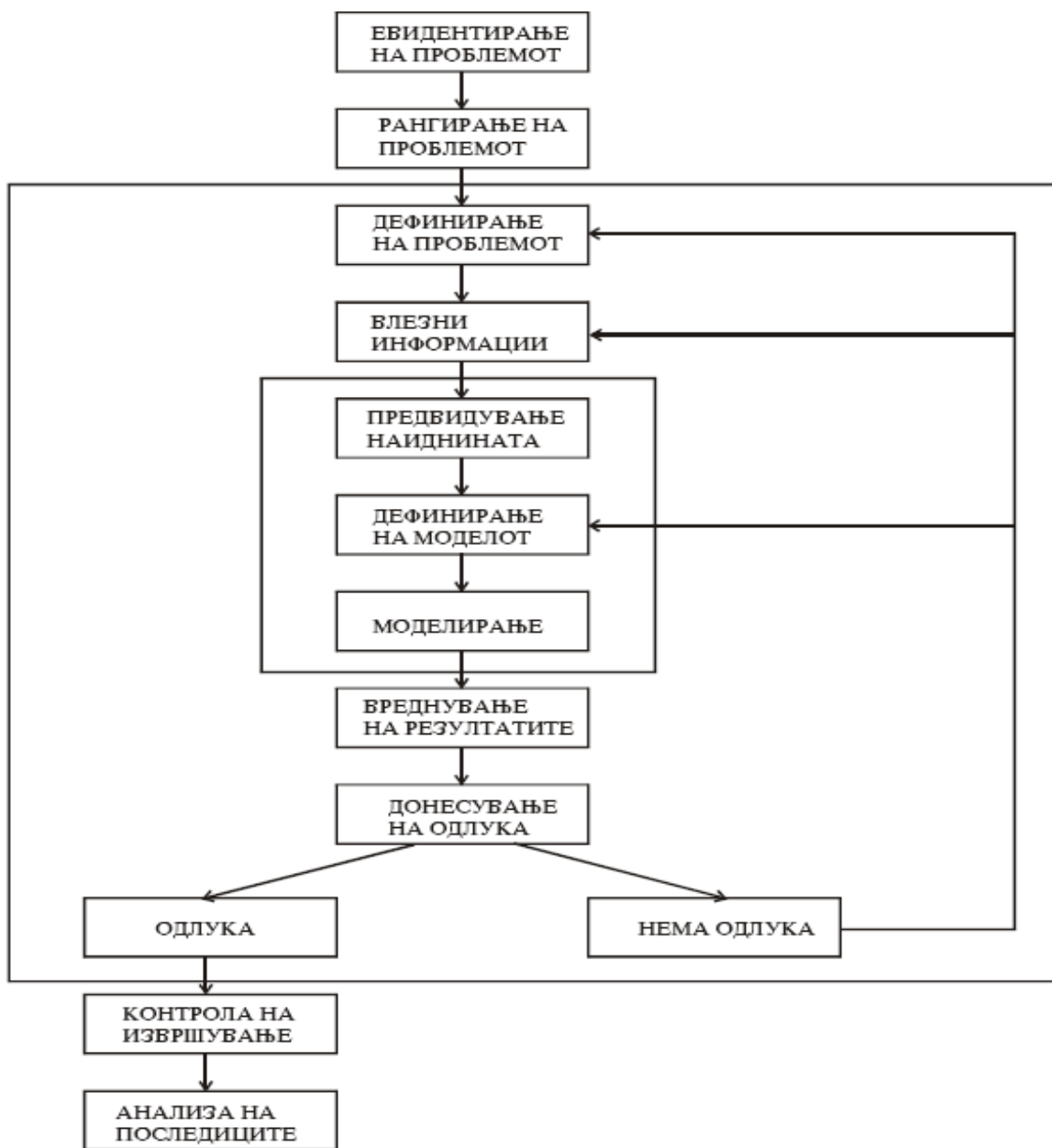
Адаптирајќи ги условите за моделирање на процесот на одлучување при донесување на одлука за оптимален, процесот на одлучување може да се прикаже преку следниве фази (слика 3.3.):

1. *Евидентирање на проблемот* - прва фаза со која се врши евидентирање од множеството на проблеми.
2. *Рангирање на проблемот* - нормално е секој проблем да нема ист приоритет во решавањето, било тоа да е временски, во однос на сложеноста на решавањето, обемот на работите итн.
3. *Дефинирање на проблемот* - во оваа фаза се извршува дефинирање (востановување) на сите елементи на проблемот.



4. *Влезни информации* - формирање на база на податоци (информации) за дефинираниот проблем.
5. *Предвидување на иднината* - имајќи предвид дека донесената одлука за третирањето на проблемот ќе се применува во иднината, потребно е вклучување на оваа фаза како една од најзначајните, иако многу автори истата ја запоставуваат, односно не ја третираат во решавањето на процесот на одлучување.
6. *Дефинирање на моделот* - фаза во која се врши дефинирање на моделот на процесот на одлучување врз основа на претходните фази.
7. *Моделирање* - решавање на моделот (проблемот). Се мисли на одредување на дискретен (нумерички) или аналоген начин на решавање на проблемот (моделот) со примена на соодветни методи и техники на моделирање.
8. *Вреднување на резултатите* - фаза на споредување на добиените резултати со очекуваните резултати од реалните системи и нивно оценување.
9. *Донесување на одлука* - фаза на одлучување на алтернативното решение добиено со моделирањето, т.е. донесување одлука: се прифаќа или не, или пак е потребна соодветна адаптација на истото.
10. *Одлука / Нема одлука* - фаза на извршување на одлуката во случај ако ја има или не. Во случај да нема одлука, можно е нејзино повторно комплетно или делумно решавање - враќање во системот.
11. *Контрола на извршување* - кога ќе се донесе конечната одлука, тогаш посебно внимание треба да се посвети на контролата на нејзиното извршување.
12. *Анализа на последиците* - фаза во која треба да се изврши анализа на последиците од извршувањето на одлуката врз реалните системи.

Во случај ако последиците постојат, тогаш е потребно да се направат анализи за нивно отстранување за да во понатамошниот процес на одлучување истите не би се повторувале во некоја слична ситуација.



**Слика 52.** Шема на фазите на процесот на одлучување

**Figure 52.** Scheme of stagea of the process of decision-making

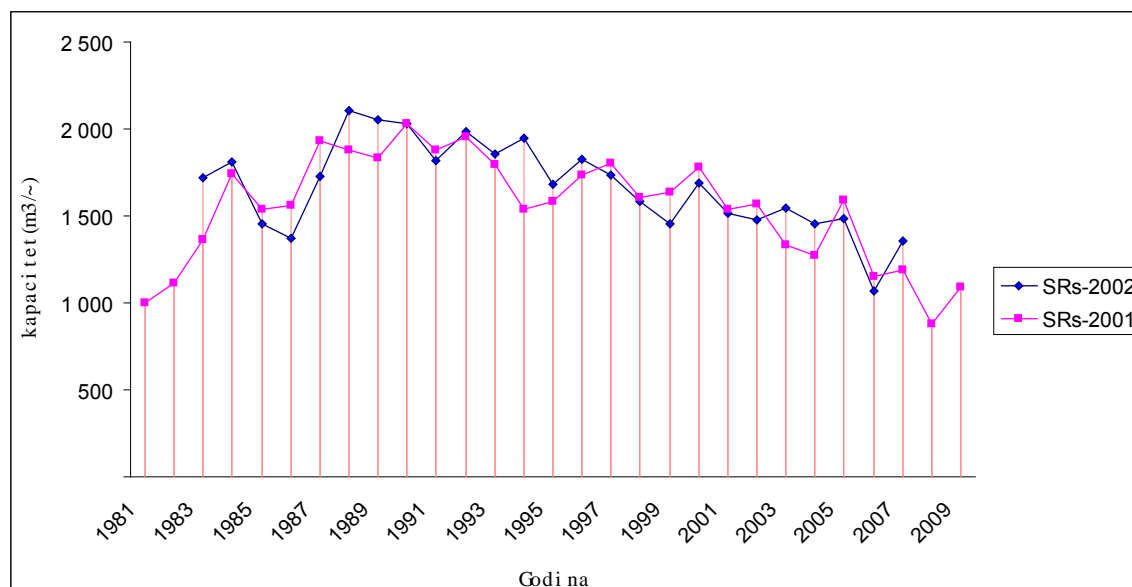
## **6. ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РАБОТНИ ПАРАМЕТРИ НА РОТОРНИОТ БАГЕР СРС-2000**

Врз основа на досегашното искуство на работа на роторните багери СРС - 2000 во рудникот „Суводол“ и рудникот „Брод – Гнеотино“, како и со моите истражувања на работата на двата багера СРС - 2000 во рудникот „Брод – Гнеотино“, следуваат следниве табеларни и графички прикази:

**Табела 5.** Производни резултати на роторните багери CPC - 2002 и CPC - 2001 во период од 1981 до 2009 год.

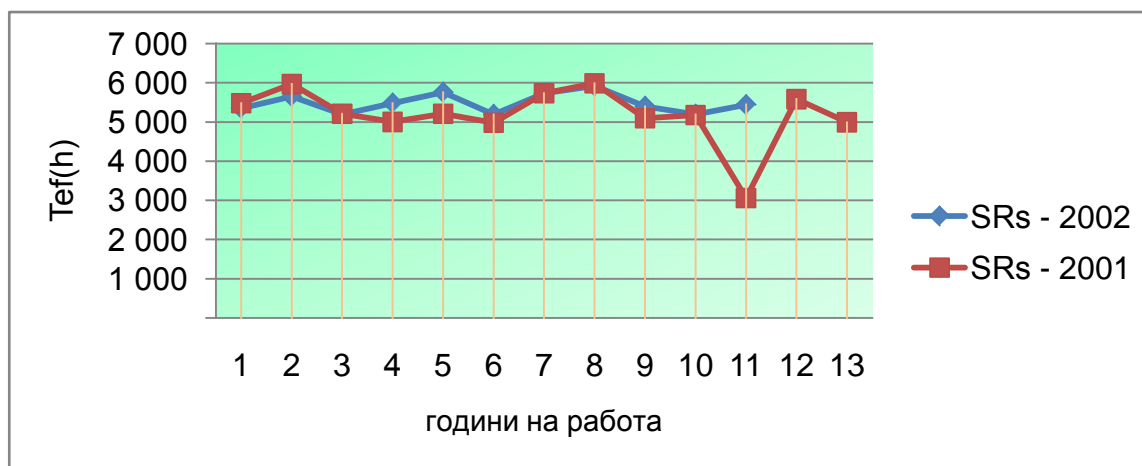
**Table 5.** Production results of roto excavators and SRS-2002 and SRS-2001 between 1981 and 2009

година	SRs - 2002			SRs - 2001		
	Q(m3)	Tef(h)	q(m3/h)	Q(m3)	Tef(h)	q(m3/h)
1983	3 882 349	2 260	1 718	3 132 637	2 300	1 362
1984	4 669 898	2 581	1 809	4 262 717	2 450	1 740
1985	3 688 814	2 535	1 455	4 419 579	2 869	1 540
1986	3 771 132	2 757	1 368	4 594 419	2 939	1 563
1987	4 971 487	2 872	1 731	6 805 886	3 522	1 932
1988	6 886 605	3 275	2 103	7 839 773	4 178	1 876
1989	7 893 330	3 838	2 057	7 640 728	4 166	1 834
1990	7 755 219	3 815	2 033	8 046 008	3 961	2 031
1991	8 036 341	4 411	1 822	8 118 303	4 320	1 879
1992	9 577 460	4 831	1 983	10 006 748	5 115	1 956
1993	8 509 904	4 588	1 855	9 088 777	5 058	1 797
1994	9 066 837	4 652	1 949	8 339 712	5 427	1 537
1995	3 110 477	1 847	1 684	7 323 550	4 617	1 586
1996	8 737 739	4 789	1 825	8 332 464	4 797	1 737
1997	9 295 293	5 350	1 737	9 893 427	5 478	1 806
1998	8 947 484	5 651	1 583	9 579 820	5 968	1 605
1999	7 578 798	5 197	1 458	8 537 796	5 210	1 639
2000	9 267 782	5 485	1 690	8 905 551	5 003	1 780
2001	8 715 093	5 760	1 513	8 032 690	5 212	1 541
2002	7 671 922	5 197	1 476	7 818 433	4 980	1 570
2003	8 849 677	5 733	1 544	7 627 734	5 736	1 330
2004	8 614 785	5 921	1 455	7 617 762	5 986	1 273
2005	8 042 630	5 403	1 489	8 114 075	5 098	1 592
2006	5 557 254	5 199	1 069	5 949 375	5 177	1 149
2007	7 365 012	5 445	1 353	3 639 390	3 062	1 189
2008			107	4 894 493	5 584	877
2009				5 449 571	4 994	1 091
просечно	7 218 533	4 376	1 650	7 360 857	4 730	1 556



**Слика 53.** Дијаграм на остварен капацитет по години на багерите CPC - 2001 и CPC - 2002

**Figure 53.** Diagram reached capacity after years of excavators SRs - 2001 end SRs - 2002



**Слика 54.** Дијаграм на остварени ефективни часови по години на багерите CPC - 2001 и CPC - 2002

**Figure 54.** Diagram of effective working hours achieved by years of excavators SRs - 2001 end SRs - 2002

## **6.1. Одредување на резните елементи на роторниот багер CPC -2000**

Роторните багери според техничките карактеристики се детерминирани за работа во висински блок. Битни технолошки параметри при работа на багерот во блок се:

1. Висина на блокот;
2. Висина на подетажата;
3. Број на подетажи;
4. Агол на наклон на страничната косина;
5. Агол на наклон на челната косина;
6. Ширина на блокот;
7. Должина на блокот.

Анализата на технолошките можности на роторните багери се сведува на дефинирање на геометриските и математичките зависности помеѓу конструктивно-технолошките параметри на роторниот багер и параметрите на работната средина и во рамките на тие зависности проектирање на најрационални технолошки шеми. Целта на откопувањето е што поголемо зафаќање на масите кои се копаат и што поголемо капацитативно и временско искористување на опремата.

### **6.1.1. Висина на блокот**

Висината на блокот претставува висинска разлика помеѓу нивелетата на врвот на етажата и нивелетата на стоење на роторниот багер. Максималната висина на блокот е лимитирана од конструктивните карактеристики на катарката од работното тркало, димензиите на работното тркало и граничниот агол на наклон на катарката од работното тркало, која зависи од аголот на тркалање на откопаниот материјал во состојба на движење.

Според слика 55, максималната висина на копање на роторниот багер може да се одреди:

$$H_{\max} = h + 0,5 \cdot r$$

каде се:

$h$  – Висина помеѓу нивелетата на стоење на багерот и оската на работното тркало при максимална подинска катарка на работното тркало (m);

$r$  – Радиус на работното тркало на роторниот багер (m).

Висината на центарот на роторното тркало во положба на максимално подигната катарка од работното тркало, се одредува според:

$$h = \sin \alpha_g \cdot L_k + t + h_k$$

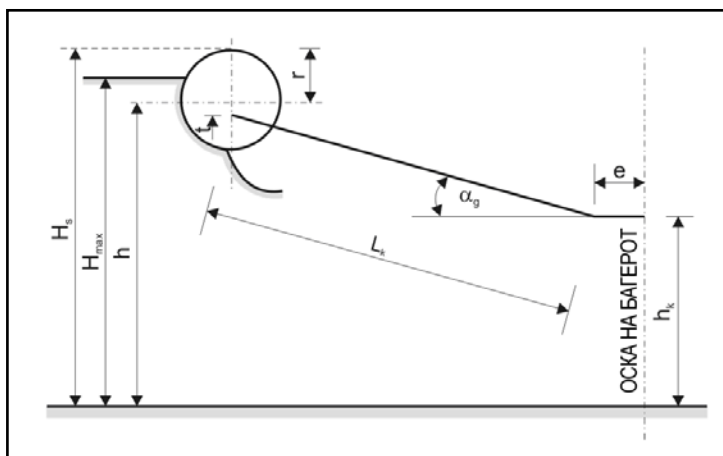
каде е:

$\alpha_g$  – Граничен агол на наклон на катарката од работното тркало, кој е дефиниран со аголот на тркалање на материјалот на лентата во состојба на движење (°);

$L_k$  – Должина на катарката, мерена од местото на вжлебување до оската на работното тркало (m);

$t$  – Висинска разлика помеѓу центарот на работното тркало и оската на катарката (m);

$h_k$  – Висинска разлика помеѓу местото на вжлебување на катарката од работното тркало и планумот на багерот (m).



**Слика 55.** Висина на копање на роторниот багер

**Figure 55.** Height of excavator digging

Висината  $H_{\max}$  претставува максимално дозволена висина на копање со роторниот багер. Потребно е да се одреди и специјалната висина на копање или таканаречената висина на „краток од“, која не фигурира во пресметките и се користи само за симнување на врвовите од етажите во стабилни материјали на критично растојание. Оваа висина на копање не е препорачлива заради безбедност на багерот.

Специјалната висина на копање претставува висинска разлика помеѓу планумот на багерот и најиздадената точка на работното тркало, кога катарката е максимално подигната.

$$H_s = h + r \text{ (m)}$$

Врз основа на претходните изрази се пресметани висините на блокот за роторниот багер  $SR_s 2000 \cdot 32/5 + VR$ .

**Табела 6.** Висина на блокот на роторниот багер CPC 2000 на површинскиот коп

**Table 6.** Hight of block of roto excavator Srs-2000 in surface mine

Р.Б.	Роторен багер	БТО систем	Параметри на багерот за пресметка						Пресметани висини	Усвоена висина
			h (m)	r (m)	$\alpha_g$ (°)	$L_k$ (m)	t (m)	$h_r$ (m)	$H_{\max}$ (m)	$H_{\max}$ (m)
1.	$SR_s 2000 \cdot 32/5 + VR$	I БТО	29	6	18	44	1,13	12	32	32

Наведената висина на блокот на роторниот багер CPC 2000 е онаа која роторниот багер може да ја оствари. Во рудникот „Брод – Гнеотино“ висинските блокови за двата багера ќе бидат исти и ќе изнесуваат дваесет метри. На одделни делови од етажите во зоните каде што тоа е потребно ќе се откопуваат блокови со поголема висина, но со помош на подетажи и рампи, при што основната висина и



понатаму ќе биде од бараните (геомеханички услови за стабилност) дваесет метри.

Максималната длабина на копање под нивелетата на стоење на багерот се одредува според:

$$H_{dmax} = L_k \cdot \sin \alpha_{dg} + r - t - h_r$$

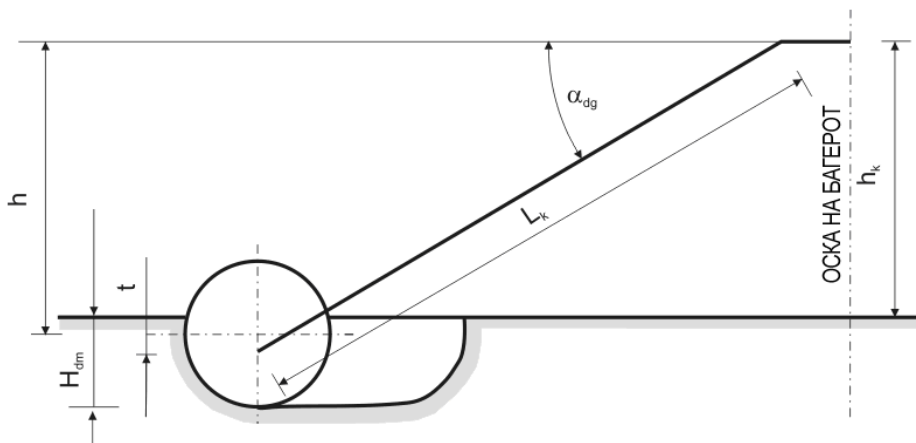
каде е:

$H_{dmax}$  – Максимална длабина на копање под нивелетата на стоење на багерот (m);

$L_k$  – Должина на катарката од работното тркало (m);

$\alpha_{dg}$  – Агол помеѓу положбата на катарката во хоризонтална состојба и положбата во состојба максимално спуштена при работа под нивелетата на стоење (°);

$t$  – Растојание помеѓу оската на работното тркало и врвот на етажата на длабинско копање (m).



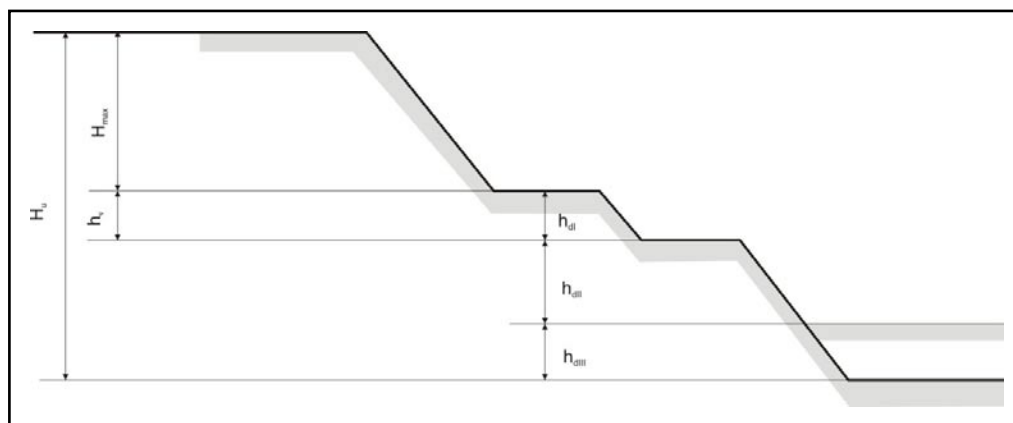
**Слика 56.** Длабина на копање

**Figure 56.** Depth of digging

**Табела 7.** Максимална длабина на копање на роторниот багер на површинскиот коп

**Table 7.** Maximum digging depth of the excavator in surface mine

Р.Б.	Роторен багер	БТО систем	Параметри на багерите					Пресметани длабини	Усвоена длабина
			$L_k$ (m)	$\alpha_{dg}$ (°)	$r$ (m)	$t$ (m)	$h_r$ (m)		
1.	SRs 2000 · 32/5	I БТО	44	20	6	1,13	12	5	5



**Слика 57.** Вкупна висина на копање

**Figure 57.** Overall height of digging

Вкупната висина на копање на роторниот багер (слика 57) се одредува со следнава релација:

$$H_u = H_{\max} + h_v + h_{dI} + h_{dII} + H_{d\max}$$

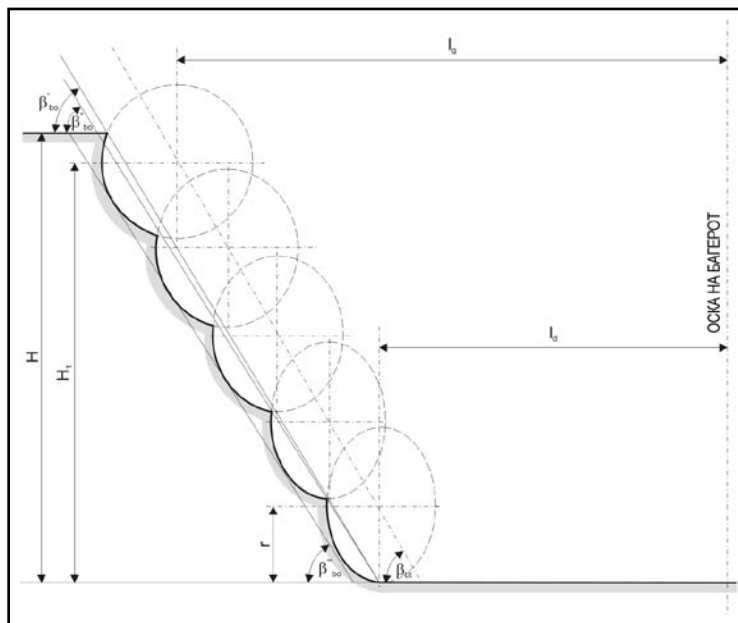
каде е:

$H_{\max}$  – Максимална висина на копање на багерот над нивелетата на стоење во висински блок (m);

- $h_u$  – Висинска разлика над нивелетата на стоење на багерот и нивелетата на етажниот транспортер, при работа на багерот во висински блок со рампа за основната машина (m);
- $h_{dl}$  – Висинска разлика помеѓу нивелетата на транспортерот и нивелетата на стоење на основната машина од претоварниот уред (m);
- $h_{dll}$  – Висинска разлика помеѓу нивелетата на претоварниот уред и нивелетата на багерот, при работа на багерот под нивелетата на етажниот транспортер (m);
- $H_{dmax}$  – Копање на багерот под нивелетата на стоење на основната машина (отстапно – настапно) (m).

## **6.2. Агол на наклон на страничната косина**

Граничните агли на наклон на страничната косина се лимитирани со конструктивните карактеристики на роторните багери и висината на етажата. Максималниот агол на страничната косина, теоретски посматрано, не зависи од висината на етажата и изнесува  $90(^{\circ})$ . Аголот на страничната косина од  $90(^{\circ})$  се изведува со вртење на катарката од работното тркало кон масивот за  $90(^{\circ})$  во сите резони.



**Слика 58.** Шематски приказ на страничната косина

**Figure 58.** Schematic view of side slope

Бидејќи е невозможно да се одржи етажата со  $90(^{\circ})$  наклон, заради геомеханичките карактеристики на материјалот кој се копа, неопходно е да се намали аголот на страничната косина (слика 58) на агол под кој етажата ќе биде стабилна за проектираната висина. Од тие причини се одредува и минималниот агол на наклон на страничната косина со следниов израз:

$$\beta_{\min} = \arctg (H_c / (L_g - L_d))$$

Каде е:

$H_c$  – Висинска разлика помеѓу центарот на работното тркало во првиот и последниот рез (m);

$$H_c = h - r \text{ (m)}$$

$L_g$  – Хоризонтална проекција на катарката од работното тркало во првиотрез (m);

$$L_g = L_k + \cos \alpha_g + e$$

$L_d$  – Хоризонтална проекција на катарката од работното тркало во последниот рез (m);

$L_d = I_s + I_t$  (m), каде

$I_s$  – Сигурносно растојание од ножицата на етажата до надворешниот раб на гасеницата (m);

$I_t$  – Ширина на транспортниот механизам, од оската на багерот до надворешната гасеница (m).

**Табела 8.** Минимални агли на страничните косини на роторниот багер од површинскиот коп

**Table 8.** Minimum angles of the side slopes of the roto excavator

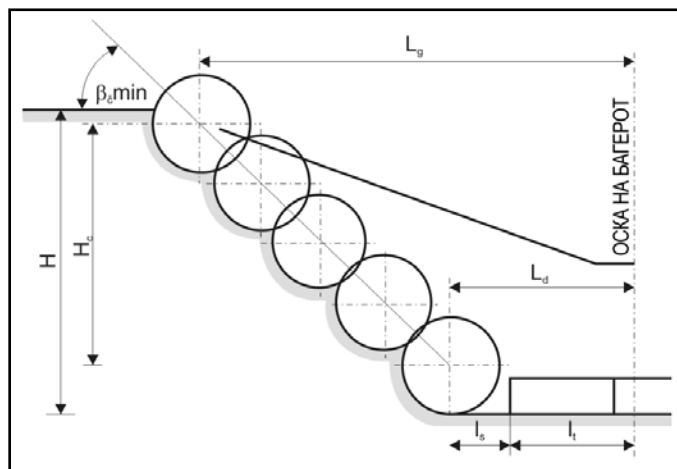
РБ	Багер	Систем	Елементи за пресметка								$\beta_{b \min} = \arctg$
			$H_c$	$L_g = L_k + \cos \alpha_g + e$				$L_d = I_s + I_t$			$(H_c/(L_g-L_d))$
			(m)	$L_k$ (m)	$\alpha_g$ (°)	$e$ (m)	$L_g$ m	$I_s$ (m)	$I_t$ (m)	$L_d$ (m)	(°)
1.	SRs 2000-32/5	І БТО	19,5	34,4	18	2,5	35	10	8	18	55

### 6.3. Агол на наклон на челната косина

Аголот на наклон на челната косина е дефиниран со конструктивните карактеристики на роторниот багер, висината на етажата и геомеханичките карактеристики на материјалот. За разлика од страничната косина, кај челната косина не постои разлика помеѓу вистинскиот и теоретскиот агол, бидејќи работното тркало во сите резови е поставено нормално на челната косина. Аголот на наклон на челната косина (слика 59) го дефинира следниов израз:

$$\beta_c = \arctg (H_c / (L_g - L_d))$$

Максималниот агол на наклон на челната косина изнесува  $90(^{\circ})$ , а минималниот зависи од висината на етажата (слика 59).



**Слика 59.** Агол на наклон на челната косина

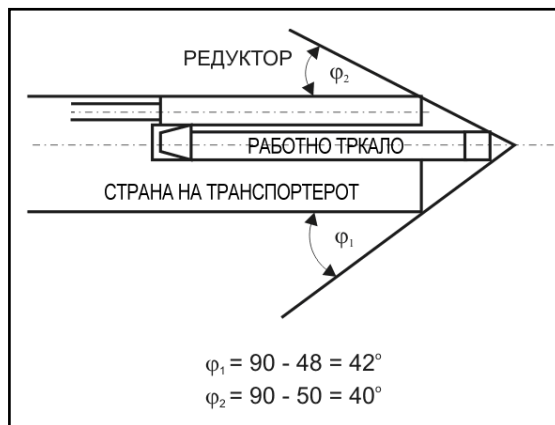
**Figure 59.** Angle of inclination of the frontal slope

**Табела 9.** Преглед на аглите на наклон на челните косини на блоковите кои ги изработуваат роторните багери на површинскиот коп „Брод-Гнеотино“

**Table 9.** Review of the angles of inclination of the frontal slopes of the blocks that made by roto excavators in surface mine Brod-Gneotino

РБ	Багер	Систем	Елементи за пресметка			$\beta_{\xi} = \arctg (H_c / (L_g - L_d))$	Усвоен
			$H_c$ (m)	$L_g$ (m)	$L_d$ (m)		
1.	SRs 2000:32/5	I БТО	19,5	35	15	$44^{\circ}12'$	$55^{\circ}$

#### 6.4. Агол на слободно режење

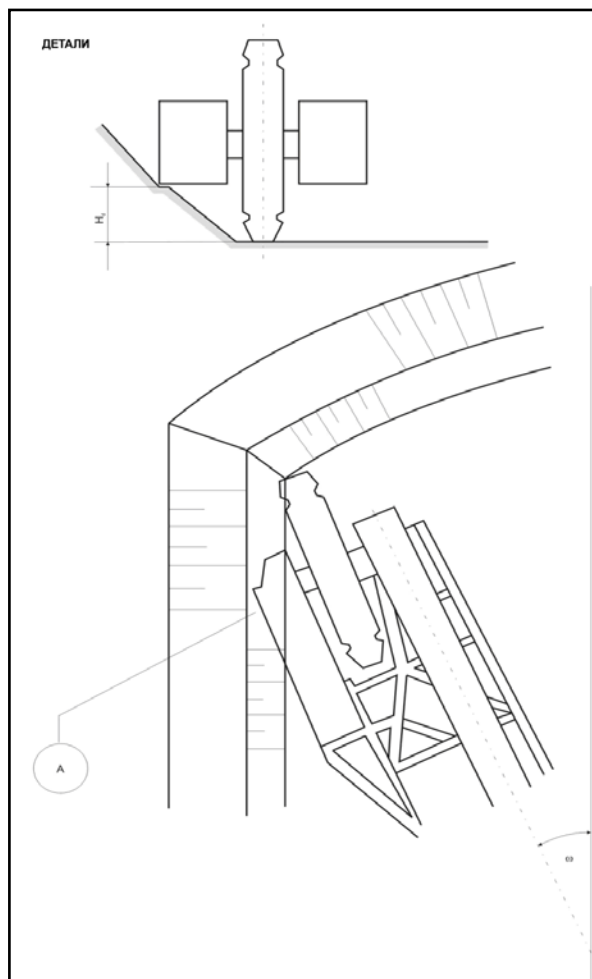


**Слика 60.** Агли на вртење на работното тркало на багерот CPC 2000 · 32/5 +VR

**Figure 60.** Angles of rotation of the working wheel of excavator SRs 2000·32/5+VR

Кај роторниот багер е битно аголот на вртење на носачот на работното тркало кон масивот во последната подетажа да биде поголем од аголот на слободното режење. Во случаи кога овој агол е помал од аголот на слободното режење доаѓа до удирање на редукторот од работното тркало од страничната косина, што може да предизвика хаварија на машината.

За да се избегне ова, мора да се намали висината на резот на висина која ќе обезбеди редукторот од работното тркало кај изработката на последниот рез да преминува во слободен простор над резот, со што се обезбедува сигурна работа на багерот.



**Слика 61.** Детал на приод на работното тркало на страничната косина

**Figure 61.** Details of the approach of working wheel to side slope



**Табела 10.** Приказ на условите на слободно режење и условите во последниот рез на блоковите за роторниот багер од површинскиот коп „Брод-Гнеотино“

**Table 10.** Review of free scratch conditions and conditions in the last section of blocks for roto excavator in surface mine Brod-Gneotino

РБ	Роторен багер	Припадност на системот	Агол на слободно режење		Агол на вртење на стрелата од работното тркало во последниот рез
			$T_1$ (°)	$T_2$ (°)	
1.	SRs 2000.32/5	I БТО	37	38	40°

### 6.5. Ширина на блокот

Ширината на блокот е во функција од радиусот на откопување на првиот (горниот) рез –  $R_g$  и долниот (најнискиот) рез –  $R_d$ , висината на блокот –  $H$ , аголот на наклон на страничната косина -  $\beta_b$  и аглите на вртење на носачот на работното тркало кон внатрешната странична косина при откопување на првиот рез-  $\varphi_g$  и аголот на вртење кон надворешната странична косина при откопување на најнискиот рез -  $\varphi_d$ .

$$B = R_g \cdot \sin \varphi_{gu} + R_d \cdot \sin \varphi_d - (h_{rg} - r) \cdot \operatorname{ctg} \beta_b (m)$$

За  $\varphi_g = 90(^{\circ})$  што е најчест случај следува:

$$\beta = R_g + R_d \sin \varphi_d - (h_{rg} - r) \cdot \operatorname{ctg} \beta_b (m)$$

каде што:

$R_g$  – радиус на откопување на првиот (горниот рез, мерен од оската на работното тркало до вертикалната оска на вртење на багерот, т.е.  $R = l \cdot \cos \alpha_g + e$ , каде што  $e$  е хоризонтално растојание од вертикалната оска на вртење на багерот до зглобната врска на носачот од работното тркало со платформа;

$\varphi_{gu}$  – внатрешен агол на вртење на носачот на работното тркало при откопување на првиот рез ( $^\circ$ );

$R_d$  – радиус на откопување на последниот (најнискиот) рез мерен од оската на работното тркало до вертикалната оска на вртење на багерот каде е  $R_d = l \cdot \cos \alpha_d + e$ ;

$\alpha_d$  – агол на наклон на носачот на работното тркало кога багерот го откопува најнискиот рез, мерен во однос на хоризонталната рамнина повлечена низ зглобната врска на носачот на работното тркало со платформата;

$\beta_b$  – агол на наклон на страничната косина( $^\circ$ );

$h_{rg}$  – висина мерена од нивелетата на етажата до оската на работното тркало:

$$h_{rg} = l \cdot \sin \alpha + y \text{ (m)}$$

$$h_{rg} = H - 0,2D \text{ (m)}$$

## 6.6. Должина на откопување на блокот

Должината на откопување на блокот претставува збир од добиените поединечни резови во етажата која се откопува во едно насипување на багерот по неговата оска на движење. Должината на откопување на блокот е ограничена со приодот на багерот на долниот раб на челната косина и допирот на конструкцијата на носачот на работното тркало и горниот раб на подолниот рез. Должината на откопување на блокот, која произлегува од ограничувањето на приодот на багерот кон долниот раб на челната косина може да се одреди по образецот:

$$Z_1 = R_g - (f + F) - (h_{rg} - r) \operatorname{ctg} \beta_{\varepsilon} \text{ (m)}$$

каде е:

$R_g$  – радиус на откопување на првиот (горниот) рез;

$F$  – максимално растојание помеѓу рабовите на гасениците и долната косина на работ од резот (m);

$\beta_{\varepsilon}$  – агол на наклон на челната косина ( $^{\circ}$ ).

Должината на откопување на блокот, која произлегува од ограничувањето на допирот на долниот раб на конструкцијата од носачот на работното тркало и горниот раб на следниот понизок рез може да се одреди според образецот:

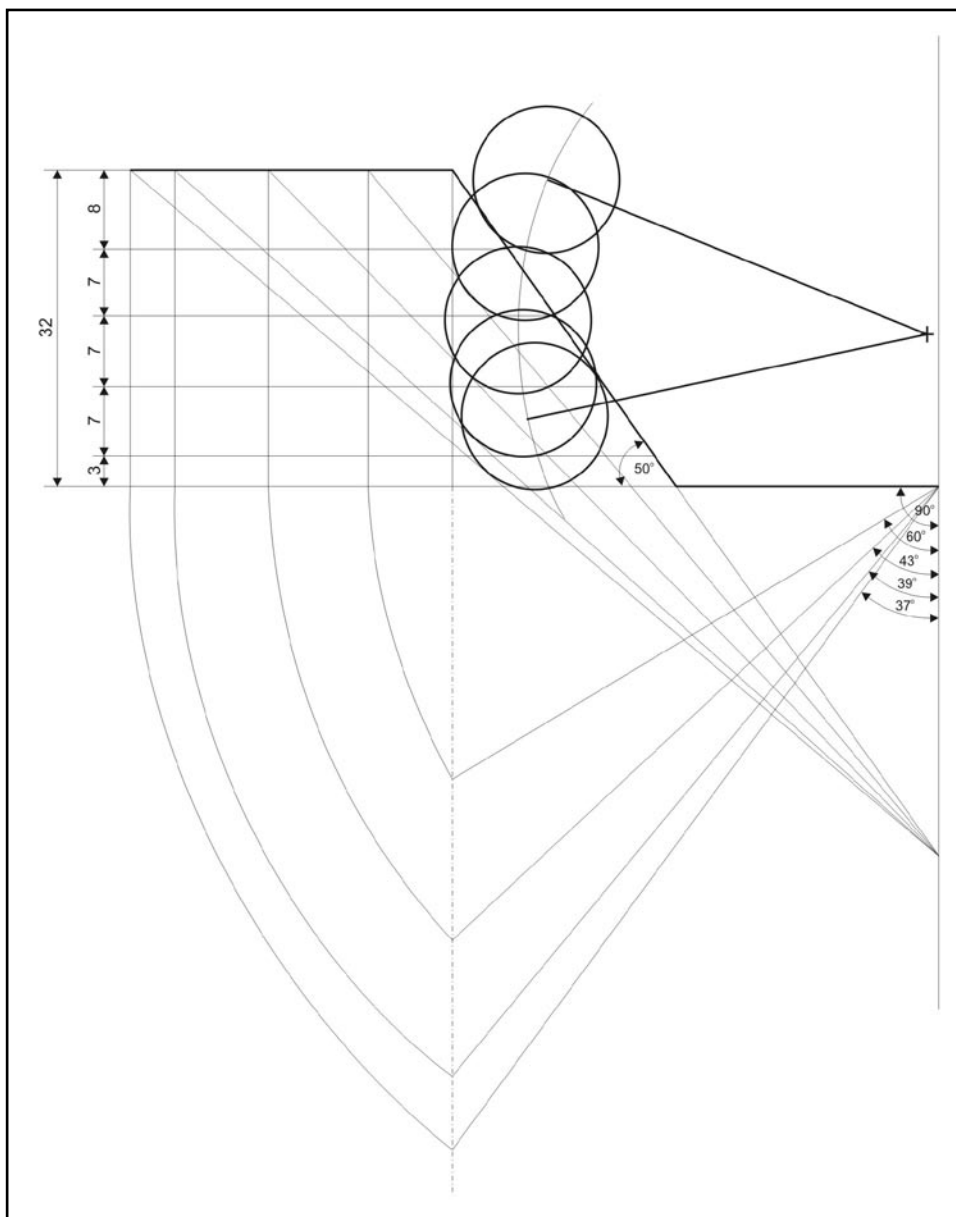
$$Z_2 = r + [r - (d + t) / \cos \alpha_g] \cdot \operatorname{ctg} \alpha_g - h_i \operatorname{ctg} \beta_{\varepsilon} \text{ (m)}$$

каде е:

$d$  – растојание помеѓу долниот раб од конструкцијата на носачот од работното тркало и надолжната оска на носачот на работното тркало (m);

$t$  – сигурносно растојание помеѓу долниот раб на конструкцијата на носачот од работното тркало и горниот раб на следниот (понизок) рез (m).

Врз основа на изнесеното, во следните глави се даваат технолошките шеми на основната опрема, на роторните багери.



**Слика 62.** Конструкција на страничната косина со наклон од  $50(^{\circ})$  за багер CPC 2000  $H_{\max}=32(\text{m})$

**Figure 62.** Construction of side slope with a gradient of  $50 (^{\circ})$  for excavator SRs 2000  $H_{\max}=32(\text{m})$

## **7. КАПАЦИТЕТИ НА РОТОРНИТЕ БАГЕРИ**

### **7.1. Општо за капацитетот на роторниот багер и анализата на влијателните фактори врз капацитетот**

Капацитетот на роторниот багер е одреден со конструктивно-кинематичките параметри на багерот, физичко-механичките карактеристики на материјалот на работната средина и технолошките параметри на блокот во кој багерот работи.

Конструктивните и кинематичките параметри на багерот, шинските транспортери и уредите за транспорт на багерот се:

- Пречник на работното тркало, зафатнина, број и конструкција на ведрата;
- Број на вртежи на работното тркало;
- Ширина и брзина на транспортерот со лента на багерот;
- Брзина на дигање, спуштање и кружно движење на стрелата од работното тркало;
- Опременост на багерот со средства за автоматска регулација на брзината на кружното движење на стрелата на работното тркало.

Физичко-механички карактеристики на материјалот кој се откопува, битни за капацитетот на багерот се:

- Специфичен отпор на копање;
- Растреситост;
- Склоност на материјалот при откопување да се откорнува во парчиња;
- Влажност и лепливост;
- Абразивност.

Технолошки параметри на блокот во кој багерот работи се:

- Висина и ширина на откопаниот блок;
- Агол на наклон на страничната и челната косина;
- Висина и број на подетажи во блокот;
- Дебелина и ширина на исечокот;
- Степен на усогласеност на горенаведените технолошки параметри со конструктивните параметри на багерот.

Конструктивните и кинематичките параметри на работниот орган, транспортерот со лента на багерот и уредите за транспорт се непроменливи за одреден модел на багер. Сите други параметри се променливи и предизвикуваат осцилирање во капацитетот на багерот.

- На аголот на вртење од  $90(^{\circ})$  му одговара брзина еднаква на бескрајност ( $V_s = V_o / \cos \varphi$ ), подалеку од овој агол брзината на вртење на носачот на работното тркало е константна, па и производот  $S \times b < S_o \times b$  тежи кон нула, што го намалува коефициентот на полнење постепено до нула.
- Намалување на висината на исечокот ( $h$ ) од  $h_{\min}$  до нула на крајот на секој рез на страната на откопниот простор.
- Коефициентот на растреситост на материјалот зависи од физичко-механичките карактеристики на материјалот кој се откопува, како и од геометријата на ведрата (вид, распоред и облик на резните елементи). Врз основа на голем број испитувања на физичко-механичките особини на карпите кои се копаат со роторни багери, се дава преглед на граничните (статистички) минимум и максимум вредности и средните вредности на физичко-механичките особини на седиментните лежишта на лигнит битни за работата на роторните багери (табела 10).
- Коефициентот на блокот ( $K_b$ ) може да се дефинира преку просечниот капацитет на багерот за еден технолошки циклус:

$$Q_{\text{teh}} = \frac{V_{\text{bl}}}{T_b (\text{m}^3 \text{cm})}$$

$$\frac{(60 \cdot q \cdot n)}{K_r} = \frac{V_{\text{bl}}}{T_b}$$

$$K_b = \frac{(V_{\text{bl}} \cdot K_r)}{60 \cdot q \cdot n \cdot T_b}$$

каде е:

$V_{\text{bl}}$  – зафатнина на материјалот во блокот кој багерот го откопува во рамките на еден технолошки циклус ( $\text{m}^3 \text{cm}$ )

$$V_{\text{bl}} = H \times B \times Z (\text{m}^3 \text{cm})$$

$H$  – висина на блокот (m)

$B$  – ширина на блокот (m)

$Z$  – должина на откопување на блокот за еден технолошки циклус (m)

**Табела 11.** Физичко-механички особини на седиментните карпи од лежиштето „Брод – Гнеотино“ кои ќе ги откопува багерот CPC - 2000

Table 11. Physico-mechanical properties of sedimentary rocks of deposit Brod-Gneotino that will excavate by excavator SRs-2000

Седименти	Физичко-механички особини						
	Влажност	Зафат- нинска маса	Агол на внатрешно триење	Кохезија	Коефициент на растреситост	Лепли- вост	Отпор на режење
	(%)	(kN/m <sup>3</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	(N/cm')
1	2	3	4	5	6	7	8
Хумус	12,6-30,4	8,2-12,8	18-26	9-221	1,18-1,28	3,4-14,6	200-500
	21,5	10,7	22	155	1,24	9	350
Прашинест и песокливи алевро- лити	16-24	17,9- 21,4	15-26	120-230	1,30-1,40	75,4- 82,6	400-600
	21,6	18,5	22	200	1,34	77,2	500
Сива лапоровита глина	19,8-39,0	17,8- 20,1	18-25	150-450	1,3-1,7	81,6- 87,5	650-850
	30	22	22	280	1,48	82,4	750
Јаглен	0	11,2- 15,7	16-53	2100- 12900	1,25-1,30	0	600- 1500
		11,8	32	8500	1,28		1050
Песоци подински	12,5-24	20,5- 21,5	26-31	80-120	1,09-1,24	20-26	400-600
	18,3	20,8	27	100	1,17	23	500
Подинска глина	18-62	15,5-22	28,4-54,0	120-380	1,26-1,32	14-17	620-820
	39	18	32	230	1,3	15	710
Јагленова глина	33-79	13,1- 19,6	10,9-13,2	80-120	1,18-1,26	16-70	670-850
	42	17,5	12	100	1,25	49	760



### 7.1.1. Максимална висина на блокот

$$H_{\max} = L \cdot \sin \alpha_{g\max} + y + h_l - r$$

каде е:

$L$  – должина на носачот на работното тркало, мерена од зглобната врска со платформата до оската на работното тркало (m)

$\alpha_{g\max}$  – вертикален граничен агол на наклон на носачот на работното тркало при откопување на првата (горна) подетажа мерена во однос на хоризонталната рамнина повлечена низ зглобната врска на носачот со платформата (°)

$y$  – висина на зглобната врска на носачот на работното тркало со вртливата платформа мерена од нивелетата на етажниот планум (m)

$r$  – полупречник на работното тркало (m)

$h_l$  – висина на првата (горна) подетажа која по правило изнесува 0,7D(m).

### 7.1.2. Ширина на блокот

Ширината на блокот е во функција од радиусот на откопување на првата (горна) подетажа –  $R_g$  и долната (најниска) подетажа –  $R_d$ , висината на блокот –  $H$ , аголот на наклон на страничната косина –  $\beta_b$  и аглите на вртење на носачот на работното тркало кон внатрешната странична косина при откопување на првата подетажа –  $\varphi_g$  и аголот на вртење кон надворешната странична косина при откопување на најниската подетажа –  $\varphi_d$ .

$$B = R_g \cdot \sin \varphi_{gu} + R_d \cdot \sin \varphi_d - (h_{rg} - r) \cdot \operatorname{ctg} \beta_b \text{ (m)}$$

За  $\varphi_g = 90(^{\circ})$  што е најчест случај следи:

$$\beta = R_g + R_d \sin \varphi_d - (h_{rg} - r) \cdot \operatorname{ctg} \beta_b \text{ (m)}$$

каде  $e$ :

$R_g$  – радиус на откопување на првата (горна подетажа, мерен од оската на работното тркало до вертикалната оска на вртење на багерот, т.е.  $R = l \cdot \cos \alpha_g + e$ , каде што  $e$  е хоризонтално растојание од вертикалната оска на вртење на багерот до зглобната врска на носачот на работното тркало со платформата;

$\varphi_{gu}$  – внатрешен агол на вртење на носачот на работното тркало при откопување на првата подетажа ( $^\circ$ );

$R_d$  – радиус на откопување на последната (најниска) подетажа мерен од оската на работното тркало до вертикалната оска на вртење на багерот каде што  $R_d = l \cdot \cos \alpha_d + e$ ;

$\alpha_d$  – агол на наклон на носачот на работното тркало кога багерот ја откопува најниската подетажа, мерен во однос на хоризонталната рамнина повлечена низ зглобната врска на носачот од работното тркало со платформата;

$\beta_b$  – агол на наклон на страничната косина ( $^\circ$ );

$h_{rg}$  – висина мерена од нивелетата на етажата до оската на работното тркало:

$$h_{rg} = l \cdot \sin \alpha + y \text{ (m)}$$

$$h_{rg} = H - 0,2D \text{ (m)}$$

### 7.1.3. Должина на откопување на блокот

Должината на откопување на блокот претставува збир на добиени одделни резови во подетажата која се откопува во едно настапување на багерот по неговата оска на движење. Должината на откопување на блокот е ограничена со приоѓање на багерот до долниот раб на челната косина и со допирање на конструкцијата на носачот на работното тркало и горниот раб на пониската подетажа. Должината на откопување на блокот, која произлегува од

ограничувањето при приодот на багерот до долниот раб на челната косина може да се одреди по образецот:

$$Z_1 = R_g - (f + F) - (h_{rg} - r) \operatorname{ctg} \beta_c \text{ (m)}$$

каде е:

$R_g$  – радиус на откопување на првата (горна) подетажа;

$F$  – максимално растојание помеѓу работ на гасениците и долната косина на работ на етажата (m);

$\beta_c$  – агол на наклон на челната косина ( $^\circ$ ).

Должината на откопување на блокот, која произлегува од ограничувањето на допирот на долниот раб на конструкцијата од носачот на работното тркало и горниот раб на следната пониска подетажа може да се одреди според образецот:

$$Z_2 = r + [r - (d + t) / \cos \alpha_g] \cdot \operatorname{ctg} \alpha_g - h_1 \operatorname{ctg} \beta_c \text{ (m)}$$

каде е:

$d$  – растојание помеѓу долниот раб на конструкцијата на носачот на работното тркало и надолжната оска на носачот на работното тркало (m);

$t$  – сигурносно растојание помеѓу долниот раб на конструкцијата на носачот на работното тркало и горниот раб на следната (пониска) подетажа (m).

#### 7.1.4. Време на откопување на еден блок

Времето на откопување на еден блок може да се искаже со помош на образецот:

$$T_b = T_{cb} + T_{po}(h)$$

каде е:

$T_{cb}$  – време на чисто багерување во рамките на еден технолошки циклус (h);

$T_{po}$  – време на неизбежни помошни операции при откопување на работен блок (h).

Времето на откопување на еден блок може да се одреди по образецот:

$$T_b = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{gcij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i-1} t_{rij} + \sum_{i=1}^{N-1} t_{pi} + t_b$$

каде е:

$t_{gc}$  – време на чисто копање на еден рез;

$t_r$  – време на промена на резот;

$t_p$  – време на промена на подетажа;

$N$  – број на подетажи во блокот;

$n$  – број на резови во подетажата;

$i$  – реден број на подетажата (озгора-надолу);

$j$  – реден број на резот во подетажата.

Времето на чисто копање на еден рез  $t_{gc}$  се состои од:

$$t_{gc} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \text{ (h)}$$

каде е:

$t_1$  – време на вртење на работното тркало со регулирана брзина на вртење од надолжната оска на багерот кон внатрешната страна на блокот;

- $t_2$  – време на вртење на носачот на работното тркало кон надворешната страна на блокот;
- $t$  – време на вртење со константна и максимална брзина  $V_b \max$  (ова време главно е присутно кај откопување на првата подетажа  $-90^\circ$ );
- $t_3$  – време на вртење на носачот на работното тркало со забрзување и забавување на почетокот и на крајот од секој рез, кон внатрешната страна и  $t_4$  кон надворешната страна.

$$t_1 = \frac{(60 \cdot R_k \cdot \sin \varphi_{rb})}{V_{bo}} (s)$$

$$t_2 = \frac{60 \cdot R_k \cdot \sin \varphi_{rd}}{V_{bo}} (s)$$

$$t_3 = \frac{V_{bo}}{(60 \cdot a \cdot \cos \varphi_{rl})} (s)$$

$$t_4 = \frac{V_{bo}}{(60 \cdot a \cdot \cos \varphi_{rd})} (s)$$

Соодветните услови на забрзување (забавување) на носачот од работното тркало изнесуваат:

$$\varphi_{ub,us} = \frac{(a \cdot \operatorname{tg} \beta_2)}{2R_u} (\text{rad})$$

$$\varphi_{ub,us} = \frac{V_{bo}}{(7200 \cdot a R_k \cos 2\varphi_r)} (\text{rad})$$

$$\varphi_{ub,us} = \frac{V_{bo}^2}{40 \cdot \pi \cdot a \cdot R_k \cos 2\varphi} (^\circ)$$

$$t = \frac{(R_k \times \pi \cdot \alpha)}{3V_{b\max}} (s)$$

$$\alpha = [(90 - \varphi_{r1}) - \varphi_{ub,us}]$$

каде е:

$R_k$  – радиус на копање, мерен од врвот на забот од ведрото (m);

$\varphi_r$  – агол на вртење на носачот на работното тркало со регулирана брзина ( $^\circ$ );

$t_{\text{cg}}$  – време на чисто копање;

$V_{bo}$  – основна брзина на движење на носачот од работното тркало (m/min).

#### 7.1.5. Време на промена на резот

Времето на промена на резот се изведува во режим на забрзување, забавување. За услов забрзувањето и забавувањето да се остваруваат со константно и редовно забрзување, времето на промена на еден рез изнесува:

$$t_{pr} = \sqrt{\frac{2S_0}{a}}$$

каде е:

$S_0$  – дебелина на резот во правец на надолжната оска на багерот и на висина на полупречникот

од работното тркало (m);

$a$  – забрзување или забавување ( $\text{m/s}^2$ );

#### 7.1.6. Време на промена на подетажата

Времето на промена на подетажата се состои од времето на повлекување на багерот за должина на откопување на блокот ( $Z$ ) и времето на спуштање на носачот на работното тркало во положба за откопување на следната пониска подетажа

$$t_{pr} = 60 \times \left[ \frac{(Z + h_i \cdot \text{ctg} \beta_{\text{c}})}{\frac{(V_t + h_i)}{V_r}} \right] \text{ (s)}$$

каде е:

$Z$  – време за повлекување на багерот за должина на откопување на блокот(s);

$a$  – висина на  $i$ -та подетажа (m);

$V_t$  – брзина на транспорт на багерот (m/min);

$V_r$  – брзина на спуштање на носачот од работното тркало (m/min);

$\beta_\Sigma$  – агол на наклон на челната косина ( $^\circ$ ).

### 7.1.7. Време на промена на блокот

Времето на промена на блокот се состои од времето на подигање на носачот од работното тркало од најниската во највисоката подетажа и времето на преминување на багерот во положба за откопување на нов блок.

$$t_b = 60 \times \left[ \frac{(h_{rg} - r) \cdot \operatorname{ctg} \beta_\Sigma}{V_r} \right] \quad (s)$$

каде е:

$h_{rg}$  – висина мерена од планумот до оската на вртење на работното тркало;

$$h_{rg} = l \cdot \sin \alpha_g + y$$

$L$  – должина на носачот од работното тркало (m);

$\alpha_g$  – вертикален агол на носачот од работното тркало ( $^\circ$ );

$y$  – висина на зглобната врска на носачот од работното тркало (m);

$r$  – полупречник на работното тркало.

Времето на промена на блокот се состои од времето на подигање на носачот од работното тркало од најниската во највисоката подетажа и времето на преминување на багерот во положба за откопување на нов блок.

На крај во образецот за технички капацитет треба да се воведат корекционен коефициент за условите за откопување на материјалот ( $K_u$ ):

$K_u$  – за материјали кои тешко се откопуваат е 0,89;

$K_u$  – за материјали кои полесно се откопуваат е 0,95;

$K_u$  – за материјали кои лесно се откопуваат е 0,97;

## 7.2. Експлоатационен капацитет

Додека теоретските и техничките капацитети се пресметуваат со идеализирани услови на работа на багерот во блокот (100%) за полнење на ведрата; со пресметковни димензии на исечокот и пресметковни брзини, експлоатациониот капацитет на багерот во блокот се пресметува за конкретни услови на работа и може да се изрази како експлоатационен капацитет на багерот во блокот (за 1 час работа во  $m^3cm$ )

Капацитетот на багерот во блок може да се искажи како:

$$q_{eb} = q_{teh} \cdot K_p \cdot K_{ku} \cdot K_b \cdot K_{pr} (m^3cm)$$

каде е:

$K_p$  – коефициент на полнење на пресметковната зафатнина на ведрата;

$K_{ku}$  – коефициент на квалитетот на управување;

$K_b$  – коефициент на блокот за конкретни услови;

$K_{pr}$  – коефициент на пресипување на материјалот од кофичките

$$T_b = T_t / (T_t + T_{tr})$$

каде е:

$T_t$  – време за кое багерот откопува блок (пресметковно)

$T_{tr}$  – време на застој заради електромашински и други застои.

## 7.3. Пресметка на капацитетот на роторниот багер CPC -2000-32/5+BP

Нивелетата на која ќе се движи роторниот багер при изработката на внатрешниот усек ќе биде 20 (21 m) под нивелетата на теренот, односно висина која во литолошкиот член (прашинести песоци) со агол од  $50(^{\circ})$  на косината на етажата обезбедува фактор на стабилност  $F_{st} = 1,1$ .



Врз основа на геометриските карактеристики на блокот на багерот CPC 2000 · 32/5 + VR се добиени следниве параметри за пресметка на капацитетот:

- Висина на блокот: 20(m)
- Ширина на блокот: 55(m)
- Длабина на откопување на блокот: 24(m)
- Висини на I, II, III рез исти по: 7(m)
- Агол на страничната косина: 50(°)
- Агол на челната косина: 50(°)
- Агол на вртење на стрелата од работното тркало
  - I рез 90(°)
  - II рез 69(°)
  - III рез 62(°)
- Димензии на исечокот:

$$q = h \cdot b \cdot S_o \cdot K_r$$

$h = 7,0(m)$ ,  $b = 0,40(m)$ ,  $S_o = 0,35$ ,  $K_r = 1,3$  (за прашиности песоци)

$$q = 7,0 \cdot 0,40 \cdot 0,35 \cdot 1,30 = 1,27(m^3)$$

За да багерот CPC 2000 оствари оптимален исечок со положба на стрелата од работното тркало во оската на движење треба да се работи со следнава константна брзина:

$$v_{I,II,III \text{ рез}} = 91,66 \cdot 0,3 = 27,5(m/min)$$

$$q_{teo I,II,III \text{ рез}} = 60 \cdot h \cdot S_o \cdot v_b \cdot K_r (m^3/h)$$

$$q_{teo I,II,III \text{ рез}} = 60 \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 27,5 \cdot 1,3 = 6000(m^3/h)$$

Багерот го има овој капацитет кога стрелата од работното тркало е во оската на движење на работното тркало (блокот). Бидејќи багерот CPC 2000 има програмирана работа, тој одржува константна брзина на носачот од работното

тркало и ги задржува параметрите на ширина и дебелина на исечокот, при што вкупниот теоретски капацитет е ист и изнесува:

Технички капацитет на багерот  $SRs\ 2000 \cdot 32/5 + VR$

$$q_{teh} = v_b / T_b \left( m^3 / h \right)$$

каде е:

$v_b$  - зафатнина на блокот ( $m^3 cm$ );

$T_b$  - време на багерување (ископување на блокот - пресметковно).

$$v_b = H \cdot B \cdot z \left( m^3 cm \right)$$

$H = 21(m)$ ,  $B = 5,0(m)$ ,  $z = 7,0(m)$

$$v_b = 21 \cdot 5,5 \cdot 7 = 8085 \left( m^3 cm \right)$$

$$T_b = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{g\check{c}}^{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i-1} t_{l}^{ij} + \sum_{i=1}^{N-1} t_p^i + t_b$$

каде е:

$t_{g\check{c}}$  – време на чисто копање на еден рез;

$t_{g\check{c}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$  (h);

$t_1$  – време на вртење на носачот од работното тркало со регулирана брзина на вртење од надолжната оска на багерот, кон внатрешната страна на блокот;

$$t_1 = \frac{(60 \cdot R_k \cdot \sin \varphi_d)}{V_{bo}} (s); \varphi_d = 90(^{\circ})$$

$$t_{1(0)} = \frac{60 \cdot 36,5 \cdot \sin 90}{25,9} = \frac{60 \cdot 36,5 \cdot 1}{25,9} = 85(s)$$

$$t_1 = 85(s)$$

$$t_{1(II)} = \frac{60 \cdot 36,5 \cdot \sin(69^\circ)}{25,9} = \frac{60 \cdot 36,5 \cdot 0,9336}{25,9} = 79(s)$$

$$t_{1(III)} = \frac{60 \cdot 36,5 \cdot \sin(62^\circ)}{25,9} = \frac{60 \cdot 36,5 \cdot 0,8829}{25,9} = 75(s)$$

$$t_{2(I,II,III)} = \frac{60 \cdot 36,5 \cdot 0,1736}{25,9} = 15(s)$$

$$t_3 = t_{us} + t_{ub} \cdot \frac{S_o}{v_b}(s)$$

$$t_3 = 5 + 7 \cdot \frac{0,44}{2,76} = 12,2(s)$$

$$t_4 = 9 + 8 + \frac{0,44}{2,76} = 17,2(s)$$

$$t_{cg(I)} = 85 + 15 + 12,2 + 17,2 = 129,4(s)$$

$$t_{cg(II)} = 79 + 15 + 12,2 + 17,2 = 123,4(s)$$

$$t_{cg(III)} = 75 + 15 + 12,2 + 17,2 = 119,4(s)$$

Време на промена на подетажата:

$$t_p = 60 \cdot \left( \frac{(Z + h_l \cdot \operatorname{ctg} \alpha_\epsilon)}{v_t} + \frac{h_l}{v_e} \right) (s)$$

$$t_p = 60 \cdot \left( \frac{(7 + 5 \cdot 0,577)}{3} + \frac{5}{5} \right) = 258(s)$$

Време на промена на блокот:

$$t_b = 60 \cdot \frac{((h_{rg} - r) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_\epsilon)}{3} = 60 \cdot \frac{((11,5 - 4,5) \cdot 0,5774)}{3} = 81(s)$$

Број на резови:

$$n = \frac{Z}{S_o}$$

$$\text{за I и II рез: } n_{(I,II)} = \frac{7}{0,4} = 17,5$$

$$\text{за третиот блок: } n_{(III)} = \frac{7}{0,44} = 16$$

$$T_b = 129,4 \cdot 17,5 + 123,4 \cdot 17,5 + 119,4 \cdot 16 + 258 \cdot 2 + 81$$

$$T_b = 2264,5 + 2159,5 + 1910 + 516 + 81 = 6931(s) = 1,9(h)$$

### 7.3.1. Експлоатационен капацитет

$$q_{eb} = q_{teh} \cdot K_p \cdot K_{ku} \cdot K_b \cdot K_{pr} \cdot K_v \text{ (m}^3\text{cm/h)}$$

каде е:

$K_p$  - коефициент на полнење на пресметковната зафатнина на ведрата врзан за состојбата на резните елементи;

$$K_p = 0,8$$

$K_{ku}$  - коефициент на квалитетот на управување;

$$K_{ku} = 0,8$$

$K_b$  - коефициент на блокот за конкретни услови;

$$K_b = 0,8$$

$K_{pr}$  - коефициент на истурање на материјалот од кофичката;

$$K_{pr} = 0,9$$

$K_v$  - коефициент на временско искористување при работа во блокот;

$$K_v = \frac{T_b}{T_b + T_z} = \frac{1760}{1760 + 352} = 0,83$$

Се усвојува  $q_{teh} = 4600 \text{ (m}^3\text{/h)}$

### 7.3.2. Одредување годишно време на работа на багерот CPC 2000 при континуирана работа во рудникот „Брод – Гнеотино“

Календарско време на работа во годината:

$$T_k = 365 \cdot 24 = 8760(h / god)$$

Планирани ремонти:

$$T_{rem} = 0$$

Планирани сервиси:

$$T_{sm} = 3 \cdot 12 = 36(h / mes.)$$

$$T_{sm} = 36 \cdot 12 = 432(h / god.)$$

Електромашински застои (по настани)

$$T_3 = 772(h / god.) \quad (\text{долгогодишен параметар})$$

Технолошки застои

Со оглед на сите специфичности на применетата технологија за експлоатација на јаловината во рудникот „Брод – Гнеотино“ бара голем број на продолжувања на етажниот транспортер, така што технолошките застои изнесуваат:

$$T_{teh} = T_{vg} + T_{\text{вклопување на багерот во блокови}}$$

$T_{vg}$  - време потребно за вулканизација;

$$T_{vg} = 10 \cdot 36 = 360(h / god.)$$

$T_{\text{вклопување на багерот во блокови}}$

$$T_{y66} = 380(h / god.)$$

Застои поради временски услови

$$T_{vz} = 2000(\text{h/god.})$$

Користење на расположливото работно време заради оптимизациони и други фактори

$$T_{zo} = T_{r\text{asp}} \cdot 0,85$$

$$T_{r\text{asp}} = T_k - \sum T_z$$

$$\sum T_{r\text{asp}} = 3944(\text{h/god})$$

$$T_{r\text{asp}} = 8760 - 3944 = 4816(\text{h/god})$$

$$T_{ek} = 4816 \cdot 0,85 = 4094(\text{h/god})$$

Се усвојува:  $T_{ek} = 4000 \text{ (h/god)}$

## 8. ОПТИМИЗАЦИЈА НА КАПАЦИТЕТОТ НА РОТОРНИОТ БАГЕР СРС -2000-32/5 СПОРЕД ТРИТЕ АЛТЕРНАТИВНИ РЕШЕНИЈА (А1,А2 и А3)

### 8.1. АЛТЕРНАТИВА А1- Оптимизација на капацитетот на роторниот багер SRs -2000-32/5 во блок 55 m ширина и 20 m висина

#### 1. Теоретски капацитет

$$Q_{teo} = 60 \cdot E_r \cdot n \left( m^3 / h \right)$$

каде што :  $E_r$  - волумен на корпата  $E_r = 1,1(m^3)$

$n$  - број на празнења на корпите

$$Q_{teo} = 60 \cdot 1,1 \cdot 91 = 6006 \approx 6000 \left( m^3 / h \right)$$

#### 2. Технички капацитет

$$Q_{teh} = Q_{teo} \cdot k_p \left( m^3 / h \right)$$

каде што  $k_p$  е коефициент на полнење на корпите со цврста маса

$$k_p = 0,77$$

$$Q_{teh} = 6000 \cdot 0,77 = 4620 \approx 4600 \left( m^3 / h \right)$$

#### 3. Откопен капацитет

$$Q_{ot} = Q_{teh} \cdot k_{ot} \left( m^3 / h \right)$$

каде што  $k_{ot}$  е коефициент на откопување (намалување на капацитетот поради маневрирање)  $k_{ot} = 0,65$

$$Q_{ot} = 4600 \cdot 0,65 = 2990 \approx 3000 \left( m^3 / h \right)$$

#### 4. Експлоатационен капацитет

$$Q_{eks} = Q_{teo} \cdot \frac{k_p}{k_r} \cdot k_v \cdot k_t \left( m^3 / h \right)$$

каде:  $k_p$  - коефициент на полнење на корпите ( $k_p = 0,6 - 0,9$ ) усвоен

$$k_p = 0,65$$

$k_r$  - коефициент на растреситост  $k_r = 1,3$

$k_v$  - коефициент на влијание на работните услови ( $k_v = 0,6 - 0,9$ ) усвоен

$$k_v = 0,8$$

$k_t$  - коефициент на временско искористување  $k_t = 0,75$

$$Q_{eks} = Q_{teo} \cdot \frac{k_p}{k_r} \cdot k_v \cdot k_t = 6000 \cdot \frac{0,65}{1,3} \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 1800 (m^3 / h)$$

## 5. Годишен капацитет

$T_e$  - ефективни часови годишно ( $T_{ef} = 4000(h)$ )

$$Q_{god} = Q_{eks} \cdot T_{ef} = 1800 \cdot 4000 = 7.200.000 (m^3 / god)$$

Бидејќи при пресметката на експлоатациониот , а врз основа на тоа и годишниот капацитет се дели со коефициентот на растреситост кој за сиви трепели е усвоен

$k_r = 1,3$  капацитетот е пресметан за цврста маса во трите алтернативни решенија.

## 8.2. АЛТЕРНАТИВА А2-Оптимизација на капацитетот на роторниот багер СРС -2000-32/5 при работа на багерот од -3m во однос на транспортерот

### 1. Теоретски капацитет

$h = 3(m)$  висина на резот

$q = 0,4(m)$  длабочина на исечокот

$v = 40(m/min)$  брзина на кружно вртење на стрелата при копање

$k_r = 1,3$  коефициент на растреситост

$$Q_{teo} = 60 \cdot h \cdot q \cdot v \cdot k_r (m^3 / h)$$



$$Q_{teo} = 60 \cdot 3 \cdot 0,4 \cdot 40 \cdot 1,3 = 3744 \approx 3800 (m^3 / h)$$

## 2. Технички капацитет

$$Q_{teh} = Q_{teo} \cdot k_p (m^3 / h)$$

$k_p = 0,77$  коефициент на полнење на корпите со цврста маса

$$Q_{teh} = 3800 \cdot 0,77 = 2926 \approx 3000 (m^3 / h)$$

## 3. Откопен капацитет

$$Q_{ot} = Q_{teh} \cdot k_{ot} (m^3 / h)$$

$k_{ot} = 0,65$  коефициент на откопување

$$Q_{ot} = 3000 \cdot 0,65 = 1950 (m^3 / h)$$

## 4. Експлоатационен капацитет

$$Q_{eks} = Q_{teo} \cdot \frac{k_p}{k_r} \cdot k_v \cdot k_t = 3800 \cdot \frac{0,65}{1,3} \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 1140 \approx 1100 (m^3 / h)$$

## 5. Годишен капацитет

$$Q_{god} = Q_{eks} \cdot T_{ef} = 1100 \cdot 4000 = 4.400.000 (m^3 / god)$$

### 8.3. АЛТЕРНАТИВА А3 - Оптимизација на капацитетот на роторниот багер CPC -2000 -32/5 при работа отстапно-настапно - 5m во ламели

#### 1. Теоретски капацитет

$h = 5(m)$  висина на резот

$q = 0,4(m)$  длабочина на исечокот

$v = 20(m/min)$  брзина на кружно вртење на стрелата при копање

$k_r = 1,3$  коефициент на растреситост

$$Q_{teo} = 60 \cdot h \cdot q \cdot v \cdot k_r \left( m^3 / h \right)$$

$$Q_{teo} = 60 \cdot 5 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 1,3 = 3120 \approx 3000 \left( m^3 / h \right)$$

## 2. Технички капацитет

$$Q_{teh} = Q_{teo} \cdot k_p \left( m^3 / h \right)$$

$k_p = 0,77$  коефициент на полнење на корпите со цврста маса

$$Q_{teh} = 3000 \cdot 0,77 = 2310 \approx 2300 \left( m^3 / h \right)$$

## 3. Откопен капацитет

$$Q_{ot} = Q_{teh} \cdot k_{ot} \left( m^3 / h \right)$$

$k_{ot} = 0,65$  коефициент на откопување

$$Q_{ot} = 2300 \cdot 0,65 = 1495 \approx 1500 \left( m^3 / h \right)$$

## 4. Експлоатационен капацитет

$$Q_{eks} = Q_{teo} \cdot \frac{k_p}{k_r} \cdot k_v \cdot k_t = 3000 \cdot \frac{0,65}{1,3} \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 900 \left( m^3 / h \right)$$

## 5. Годишен капацитет

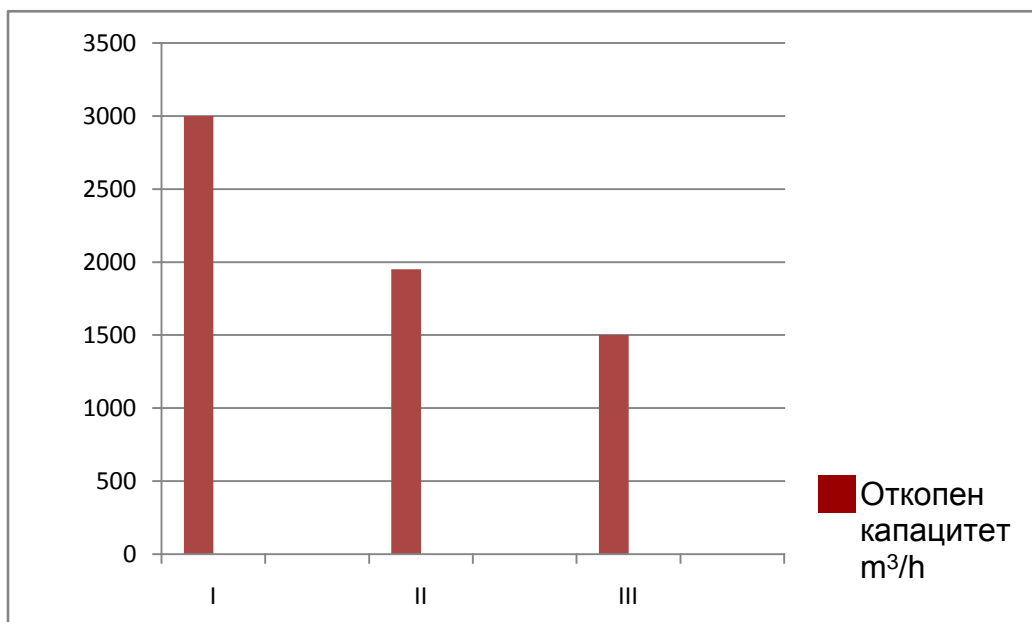
$$Q_{god} = Q_{eks} \cdot T_{ef} = 900 \cdot 4000 = 3.600.000 \left( m^3 / god \right)$$

**Табела 12.** Пресметаните капацитети на роторниот багер CPC -2000 според трите алтернативи (A1, A2 и A3)

**Table 12.** Calculated capacities of roto excavator SRs-2000

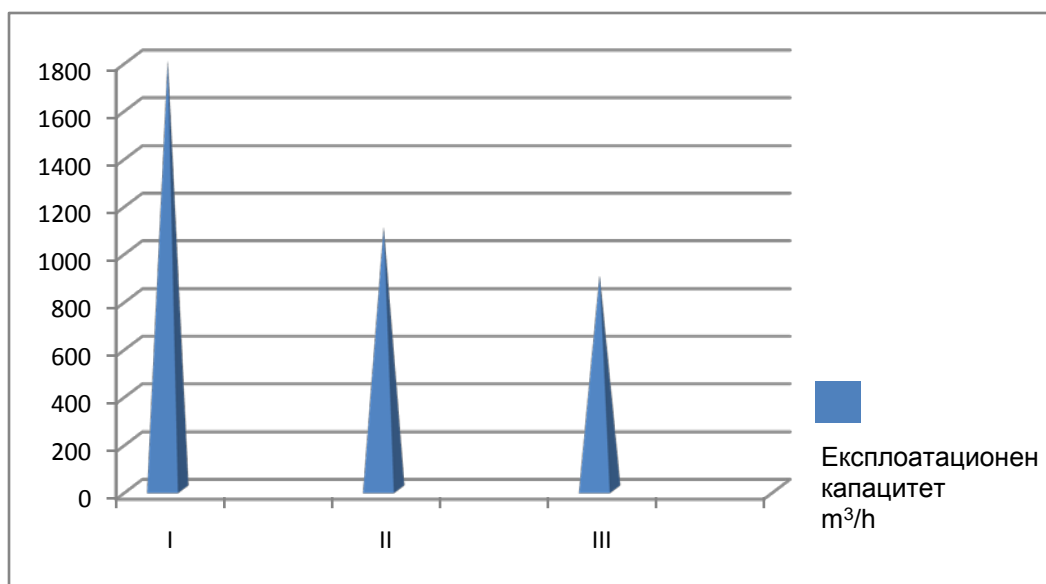
	<b>АЛТЕРНАТИВА A1</b> Работа на Срc-2000 во блок од 20m <b>ALTERNATIVE A1</b> BWE Srs-2000 at work in block of 20m	<b>АЛТЕРНАТИВА A2</b> Работа на Срc-2000 во блок со -3m во однос на транспортерот <b>ALTERNATIVE A2</b> BWE Srs-2000 at work in block -3m below the conveyor level	<b>АЛТЕРНАТИВА A3</b> Работа на багерот отстапно-настапно <b>ALTERNATIVE A3</b> BWE Srs-2000 at work inback&forth manner
Теоретски капацитет Theoretical capacity ( $m^3 / h$ )	6000	3800	3000
Технички капацитет Technical capacity ( $m^3 / h$ )	4600	3000	2300
Откопен капацитет Excavation capacity ( $m^3 / h$ )	3000	1950	1500
Експлоатационен капацитет Exploitation capacity ( $m^3 / h$ )	1800	1100	900
Годишен капацитет Annual capacity ( $m^3 / god$ )	7 200 000	4 400 000	3 600 000

- Време на кружно вртење на стрелата за блок од 55 m = 12,5 min
- Длабочина на рез 40 cm
- Копање на еден рез од 7 m висина и ширина од 55 m = 4 h
- Време за промена на рез = 5 min



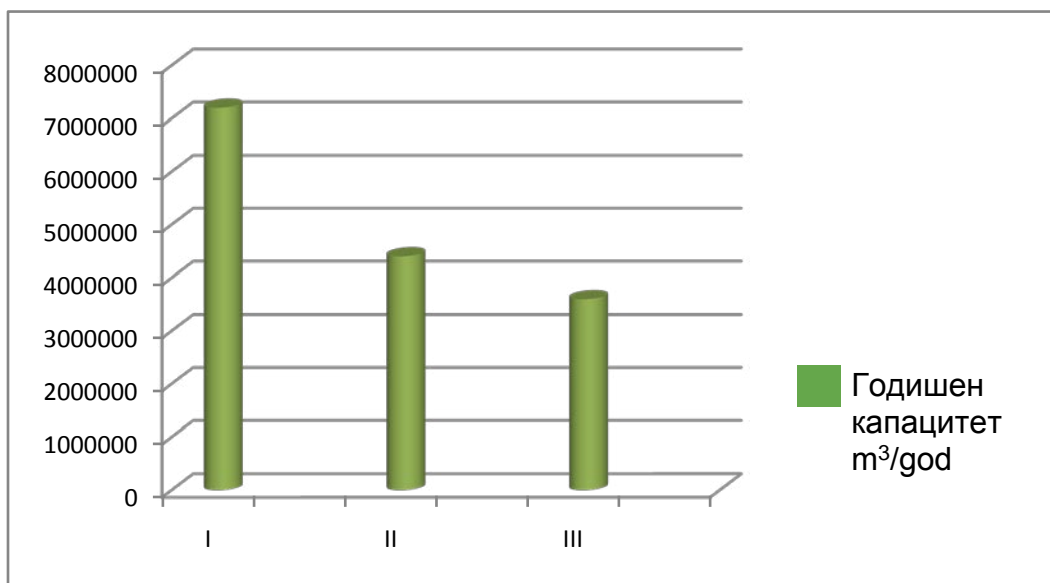
**Слика 63.** Откопен капацитет на багерот CPC - 2000 во зависност од видот на копањето

**Figure 63.** Excavation capacity excavator SRs-2000 depending on the type of digging



**Слика 64.** Експлоатационен капацитет на багерот CPC - 2000 во зависност од видот на копањето

**Figure 64.** Exploitation capacity of the excavator SRs-2000 depending on the type of digging



**Слика 65.** Годишен капацитет на багерот CPC - 2000 во зависност од видот на копањето

**Figure 65.** Annual capacity of the excavator SRs-2000 depending on the type of digging

#### 8.4. Дефинирање на повеќекритериумски модел

Основната цел на овој магистерски труд е одредување на оптималните работни параметри на роторниот багер CPC - 2000, односно од предвидените три алтернативни решенија на предложената технологија на работа на багерот се избира онаа со која ќе се постигнат најдобри резултати т.е. максимални капацитети на ископ на јаловина. Изборот на оптималните работни параметри на роторниот багер CPC - 2000 е извршен преку повеќекритериумска оптимизација, постапката се состои во следниве чекори:

1. Утврдување на алтернативните решенија;
2. Избор на критериумски функции;
3. Дефинирање на критериумските функции;
4. Утврдување на нивните влијанија (тежини);

5. Нормализација на тежините;
6. Квантификација на квалитетите на атрибутите;
7. Изработка на повеќекритериумски модел;
8. Избор на метода за повеќекритериумска оптимизација;
9. Решавање на моделот и
10. Утврдување на оптимално решение.

### 8.5. Анализа на проблемот и утврдување на варијантните решенија

Според анализата на постојната техничка документација за багерот CPC - 2000, како и според искуствата при работењето во изминатите години во рудникот „Суводол“, како и консулациите со стручниот тим на рудникот „Суводол“ и „Брод-Гнеотино“, утврдени се три алтернативни решенија кои се претставени во табела 12.

**Табела 13.** Алтернативи

**Table 13.** Alternatives

Бр · No	Алтернатива Alternative	Ознака Mark
1	Работа на багерот SRs-2000 во висински блок од 20 (m) Excavator's work (SRs- 2000) in 20 m hight block	A1
2	Работа на багерот SRs-2000 во длабински блок на нивелета на двата транспорта со -3(м ) во однос на транспортната лента Excavators' work (SRs-2000) in deep block at -3(m) hight level of both transporters, compared to the transport bar	A2
3	Отстапно-настапна работа на багерот SRs-2000 Escape - access work of excavator SRs-2000	A3

## 8.6. Избор и идентификација на критериумите

Имајќи ги предвид претходно дефинираните фактори кои имаат влијание врз поставувањето и решавањето на проблемот, како и комплетната анализа во претходното поглавје, избрани се и идентифицирани критериумите кои имаат најголемо влијание во решавањето на моделот.

**K1** – Овој критериум претставуваат **геометриските параметри на откопниот блок на багерот** (висина на етажата, аглите на челната и бочната косина, широчината на блокот, длабина на откопување на блокот, длабината на исечокот и висината на трите реза), а се стреми кон **max**. За овој магистерски труд земени се различни геометриските параметри соодветно за секое од трите алтернативни решенија.

**K2** - Критериум на **техничката способност на роторниот багер** (при различни услови на експлоатација) кој се стреми кон **max**. Овој критериум е квалитативен ,односно описен , па поради тоа му се доделуваат квалитативни оценки за секоја алтернатива .Роторниот багер при различни услови на експлоатација односно во различни работни средини, различни технолошки услови како што се дадени во трите алтернативни решенија треба технички да може да остварува максимални резултати односно максимални капацитети.

**K3** – Критериум кој го покажува **факторот на искористеност на капацитетот на транспортерот по багерот** (при различни услови на експлоатација) кој се стреми кон **max**.Овој критериум во голема мера зависи од условите во кои работи роторниот багер, односно технологијата на работа на багерот даден во трите алтернативни решенија.Според критериумот K3 транспортерот на кој работи багерот треба да се искористи максимално капацитативно односно да прими максимален капацитет на багерот, но доколку багерот работи со помал капацитет коефициентот на искористеност на транспортерот би бил помал, а транспортерот ќе работи со истите трошоци како и при максимален капацитет.

**K4 - Критериум на експлоатационен капацитет на багерот CPC - 2000** за соодветната алтернатива, кој се стреми кон **max**. Експлоатациониот (вистински, остварен) капацитет може да се дефинира како вистински можен капацитет на багерот во одреден систем на експлоатација, комплекс машини и површински коп. Фактори од кои зависи експлоатациониот капацитет се: застои, планирани, случајни, проектирани за конкретни услови, коефициент на намалување на капацитетот поради техничко-технолошки застои (на крајот на фронтот, премин од слој во слој и сл.) и коефициент на сигурност (намалување на капацитетот поради случајни и планирани загуби на време).

**K5 – Критериумот K5 претставува** оценка за постоечкиот **степен на квалификација и оспособеност на ракувачите** (при различни услови на експлоатација дадено во алтернативните решенија), како и оценка за потребниот степен на обука, доквалификување и перманентно образование на работниот кадар потребно при работа на роторниот багер CPC 2000 во различни технолошки услови. Овој критериум се стреми кон **max**, оценката на овој критериум е квалитативен, односно описен, па поради тоа му се доделуваат квалитативни оценки за секоја алтернатива .

Избраните критериуми кои имаат најголемо влијание во решавањето на моделот врз алтернативните решенија се дадени во табела 13.

**Табела 14. Критериуми**

**Table 14. Criteria**

Ред. бр. No	Критериуми Criteria	Ознака Mark
1	Геометриски параметри на откопниот блок на багерот Geometrical parameters from the excavation block of BWE	K1
2	Техничката способност на роторниот багер Technical capability of the bucket wheel excavator	K2
3	Фактор на искористеност. на капацитетот на транспортерот по багерот Capacity utilization factor of conveyor after BWE	K3
4	Експлоатационен капацитет на багерот Cpc 2000 Exploitation capacity of BWE Srs 2000	K4
5	Степен на квалификација и оспособеност на ракувачите Qualification degree and proficiency of the operators	K5



## 8.7. Утврдување на влијанија (тежини) на критериумите

Секој од овие критериуми има свое влијание (тежина) врз алтернативните решенија. За да се изврши дефинирање на тежините на критериумските функции за алтернативните решенија беа направени:

- анализи на техничко-технолошките карактеристики на роторниот багер CPC 2000 и други стручни информации;
- консултации и анкети на експерти од областа на површинската експлоатација (во анкетата беа опфатени 12 стручни лица од ПЕ Рудници-Битола);
- пресметка на капацитетите врз основа на трите алтернативни решенија и начин на експлоатација на роторниот багер CPC - 2000;
- пресметка на средни (просечни) вредности на тежините добиени од горенаведените постапки.

На овој начин се добиени следниве тежини на критериумските функции (табела 14).

**Табела 15.** Тежини на критериумските функции

**Table 15.** Importance of criteria functions

Ред. бр. No	Критериуми Criteria	Ознака Mark	Тежина Importance
1	Геометриски парам. на откопниот блок на багерот Geometrical param. from the excavation block of BWE	K1	9
2	Техничката способност на роторниот багер Technical capability of the bucket wheel excavator	K2	7
3	Фактор на искористеност на капацитетот на транспортерот по багерот Capacity utilization factor of conveyor after BWE	K3	8
4	Експлоатационен капацитет на багерот Cpc 2000 Exploitation capacity of BWE Srs 2000	K4	10
5	Степен на квалиф. и оспособеност на ракувачите Qualification degree and proficiency of the operators	K5	6

### 8.8. Нормализирани тежини и цел на критериумите

Сите повеќекритериумски методи користат т.н. нормализирани тежини, односно збирот на сите тежини на критериумите треба да биде еднаков на 1 (еден). По извршеното нормализирање со пондерисување на тежините се добива следнава табела 15, каде што е дадена и природата (цел) на критериумите.

**Табела 16.** Приказ на нормализирани тежини и цел на критериумите

**Table 16.** Normalized importance of the criteria and purpose

Ред. бр. No	Критериуми Criteria	Ознака Mark	Тежина Importance	Цел Target
1	Геом. параметри на откопн. блок на багерот Geometrical parameters from the excavation block of BWE	K1	0.225	<b>max</b>
2	Техничката способност на роторниот багер Technical capability of the BWE	K2	0.175	<b>max</b>
3	Фактор на искористеност на капацитетот на транспортот по багерот Capacity utilization factor of conveyor after BWE	K3	0.2	<b>max</b>
4	Експлоатационен капацитет на багерот Cpc 2000 Exploitation capacity of BWE Srs 2000	K4	0.25	<b>max</b>
5	Степен на квалификација и оспособеност на ракувачите Qualification degree and proficiency of the operators	K5	0.15	<b>max</b>

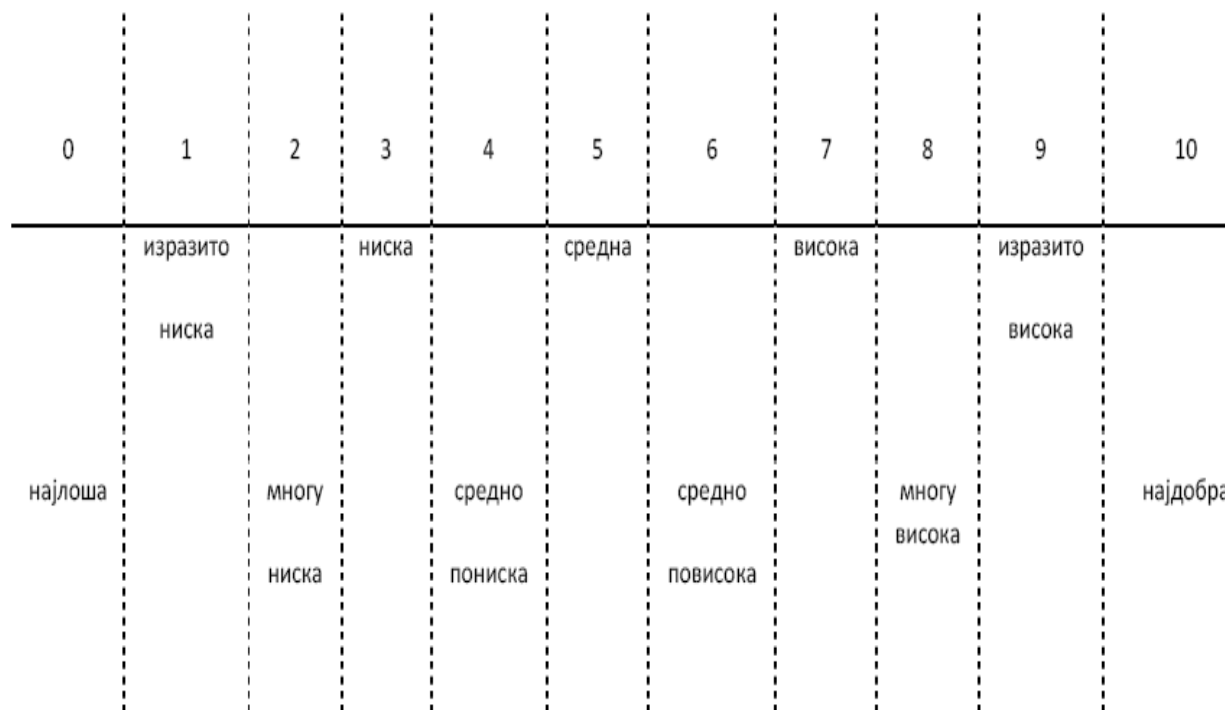
## 8.9. Повеќекритериумски модел

По завршената квантификација на квалитетите на атрибутите на повеќекритериумскиот модел за одредување на оптималните работни параметри на роторниот багер CPC - 2000 во прилог е табела 16.

**Табела 17.** Параметри на роторниот багер Cpc 2000  
**Table 17.** Parameters of the bucket wheel excavator Srs 2000

Алтернативи Alternatives		Критериуми Criteria				
		Геометриски параметри на откопниот блок на багерот Geometrical parameters from the excavation block of BWE	Техничката способност на роторниот багер Technical capability of the bucket wheel excavator	Фактор на искорист. на капацитетот на транспортерот по багерот Capacity utilization factor of conveyor after BWE	Експлоатационен капацитет Exploitation capacity	Степен на квалификација и оспособеност на ракувачите Qualification degree and proficiency of the operators
		K1	K2	K3	K4	K5
Цел Target		max	max	max	max	max
Алтернатива I Alternative I	A1	најдобра best	изразито висока distinctively high	многу висока very high	Најдобра best	изразито висока distinctively high
Алтернатива II Alternative II	A2	изразито висока distinctively high	многу висока very high	Висока high	многу висока very high	многу висока very high
Алтернатива III Alternative III	A3	висока high	средна medium	ниска low	средно повисока medium high	Средна medium
Тежини Importance	wj	0.225	0.175	0.2	0.25	0.15

Поради тоа што повеќекритериумскиот модел е дефиниран со описни оценки потребно е нивно трансформирање во нумеричи вредности. За таа цел наједноставно е користење на линеарна скала на трансформација (график на сл. 17).



Слика 66. График на линеарна трансформација на квалитети на атрибути  
Figure 66. Graph of linear transformation on the attribute qualities

**Табела 18.** Влезен модел  
**Table18.** Input model

Алтернатива Alternatives		Критериуми Criteria				
		Геометриски параметри на откопниот блок на багерот Geometrical parameters from the excavation block of BWE	Техничката способност на роторниот багер Technical capability of the bucket wheel excavator	Фактор на искорист. на капацитетот на транспортерот по багерот Capacity utilization factor of conveyor after BWE	Експлоатационен капацитет Exploitation capacity	Степен на квалификација и оспособеност на ракувачите Qualification degree and proficiency of the operators
		K1	K2	K3	K4	K5
Цел Target		max	max	max	max	max
Алтернатива I Alternative I	A1	10	9	8	10	9
Алтернатива II Alternative II	A2	9	8	7	8	8
Алтернатива III Alternative III	A3	7	5	3	6	5
Тежини Importance	wj	0.225	0.175	0.2	0.25	0.15

## 9. РЕШАВАЊЕ НА ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКИ МОДЕЛ СО МЕТОДА PROMETHEE I и PROMETHEE II

### Метода PROMETHEE I

**Чекор 1:** Квантифицирана матрица на одлучување (O).

	K1	K2	K3	K4	K5
	max	max	max	max	max
A1	10	9	8	10	9
A2	9	8	7	8	8
A3	7	5	3	6	5

**Чекор 1.1.:** Одредување за секој критериум: тип за општ критериум, параметри и тежини.

За постоечките критериуми ги избрал следниве типови (со соодветни параметри и тежини):

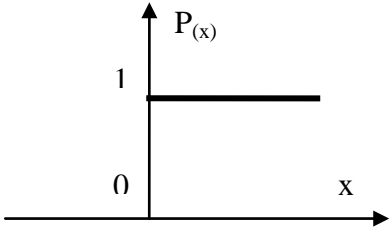
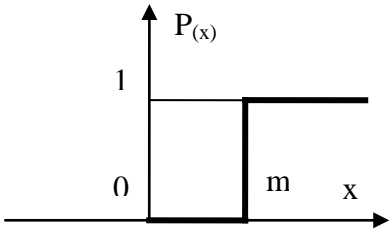
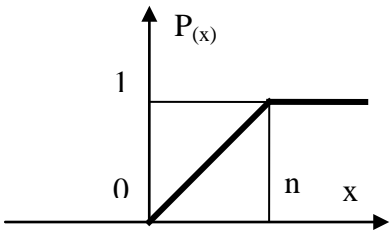
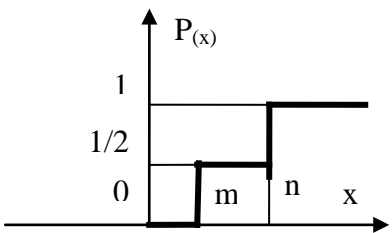
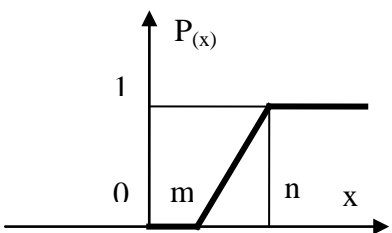
	K1	K2	K3	K4	K5
	I	I	I	I	I
m	-	-	-	-	-
n	-	-	-	-	-
Тежина Importance	0,225	0,175	0,2	0,25	0,15

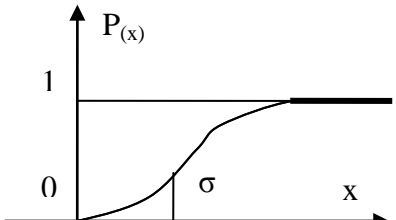
### Решение:

**Чекор 2:** Одредување на функцијата на преференција  $P_j (A_i, A_s)$ ,  $s = 1, 2, 3, 4$  и  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

Во следнава табела е даден изгледот поединечно за секој општ критериум, со границите за соодветните параметри.

**Табела 19.**Графикони  
**Table19.** Graph

Графикон Graph	Вид на општ критериум Type of general criterion	Да се дефинира To define
	<b>Тип I:</b> Обичен критериум Type I: Common criterion $P(x) = \begin{cases} 0, & \text{за } x \leq 0 \\ 1, & \text{за } x > 0 \end{cases}$	-
	<b>Тип II:</b> Квази критериум Type II: Quasi criterion $P(x) = \begin{cases} 0, & \text{за } x \leq m \\ 1, & \text{за } x > m \end{cases}$	<b>m</b>
	<b>Тип III:</b> Критериум со линеарна преференција Type II: Linear preference criterion $P(x) = \begin{cases} 0, & \text{за } x < 0 \\ x/n, & \text{за } 0 \leq x \leq n \\ 1, & \text{за } x > n \end{cases}$	<b>n</b>
	<b>Тип IV:</b> Ниво на критериум Type IV: Level of criterion $P(x) = \begin{cases} 0, & \text{за } x \leq m \\ 1/2, & \text{за } m \leq x \leq n \\ 1, & \text{за } x \geq n \end{cases}$	<b>m, n</b>
	<b>Тип V:</b> Критериум со линеарна преференција и подрачје на индиферентност Type V: Linear preference criterion and area of indifference $P(x) = \begin{cases} 0, & \text{за } x \leq m \\ \frac{(x-m)}{(n-m)}, & \text{за } m < x < n \\ 1, & \text{за } x > n \end{cases}$	<b>m,n</b>

	<b>Тип VI: Гаусов критериум</b> Type V: Gaussian criterion  $P(x) = 1 - e^{-x^2 / 2\sigma^2}$	$\sigma$
---	--	----------

**K1 - Тип I (max):**

$(A_1, A_s)$	$x = K1(A_1) - K1(A_s)$	$P_1(A_1, A_s)$
$s = 2$	$10 - 9 = 1$	1
$s = 3$	$10 - 7 = 3$	1
$(A_2, A_s)$	$x = K1(A_2) - K1(A_s)$	$P_1(A_2, A_s)$
$s = 1$	$9 - 10 = -1$	0
$s = 3$	$9 - 7 = 2$	1
$(A_3, A_s)$	$x = K1(A_3) - K1(A_s)$	$P_1(A_3, A_s)$
$s = 1$	$7 - 10 = -3$	0
$s = 2$	$7 - 9 = -2$	0

**K2 - Тип I (max):**

$(A_1, A_s)$	$x = K2(A_1) - K2(A_s)$	$P_2(A_1, A_s)$
$s = 2$	$9 - 8 = 1$	1
$s = 3$	$9 - 5 = 4$	1
$(A_2, A_s)$	$x = K2(A_2) - K2(A_s)$	$P_2(A_2, A_s)$
$s = 1$	$8 - 9 = -1$	0
$s = 3$	$8 - 5 = 3$	1
$(A_3, A_s)$	$x = K2(A_3) - K2(A_s)$	$P_2(A_3, A_s)$
$s = 1$	$5 - 9 = -4$	0
$s = 2$	$5 - 8 = -3$	0

**K3 - Тип I (max):**

$(A_1, A_s)$	$x = K3(A_1) - K3(A_s)$	$P_3(A_1, A_s)$
$s = 2$	$8 - 7 = 1$	1
$s = 3$	$8 - 3 = 5$	1
$(A_2, A_s)$	$x = K3(A_2) - K3(A_s)$	$P_3(A_2, A_s)$
$s = 1$	$7 - 8 = -1$	0
$s = 3$	$7 - 3 = 4$	1
$(A_3, A_s)$	$x = K3(A_3) - K3(A_s)$	$P_3(A_3, A_s)$
$s = 1$	$3 - 8 = -5$	0
$s = 2$	$3 - 7 = -4$	0



#### K4 - Тип I (max):

$(A_1, A_s)$	$x = K4(A_1) - K4(A_s)$	$P_4 (A_1, A_s)$
$s = 2$	$10 - 8 = 2$	1
$s = 3$	$10 - 6 = 4$	1
$(A_2, A_s)$	$x = K4(A_2) - K4(A_s)$	$P_4 (A_2, A_s)$
$s = 1$	$8 - 10 = -2$	0
$s = 3$	$8 - 6 = 2$	1
$(A_3, A_s)$	$x = K4(A_3) - K4(A_s)$	$P_4 (A_3, A_s)$
$s = 1$	$6 - 10 = -4$	0
$s = 2$	$6 - 8 = -2$	0

#### K5 - Тип I (max):

$(A_1, A_s)$	$x = K5(A_1) - K5(A_s)$	$P_5 (A_1, A_s)$
$s = 2$	$9 - 8 = 1$	1
$s = 3$	$9 - 5 = 4$	1
$(A_2, A_s)$	$x = K5(A_2) - K5(A_s)$	$P_5 (A_2, A_s)$
$s = 1$	$8 - 9 = -1$	0
$s = 3$	$8 - 5 = 3$	1
$(A_3, A_s)$	$x = K5(A_3) - K5(A_s)$	$P_5 (A_3, A_s)$
$s = 1$	$5 - 9 = -4$	0
$s = 2$	$5 - 8 = -3$	0

**Чекор 3:** Одредување на индексот на преференција  $IP (A_i, A_s)$  и  $s = 1, 2, 3, 4$ .

$$IP(A_i, A_s) = \sum_{j=1}^6 t_j P_j (A_i, A_s) ;$$

$$\left( \sum_{j \in 1}^6 t_j = 1 \right)$$

**Табела 21.** Индекс на преференција

Table 21. Preference index

	A1	A2	A3	$T^+$	T
A1	<b>0,000</b>	1,000	1,000	1,000	1,000
A2	0,000	<b>0,000</b>	1,000	0,500	0,000
A3	0,000	0,000	<b>0,000</b>	0,000	- 1,000
$T^-$	0,000	0,500	1,000		

#### **Чекор 4:** Одредување на влезните и излезните текови на секоја акција.

За пресметување на влезниот тек на акциите се користени следниве изрази:

$$T_{(A1)}^{+} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A} IP(A, x);$$

За пресметување на излезниот тек на акциите се користени следниве изрази:

$$T_{(A1)}^{-} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A} IP(A, x) = \frac{1}{4-1} ;$$

За пресметување на чистиот тек на акциите се користени следниве изрази:

$$\text{За A1: } T_{(A1)} = T_{(A1)}^{+} - T_{(A1)}^{-} ;$$

$$\text{За A2: } T_{(A2)} = T_{(A2)}^{+} - T_{(A2)}^{-} ;$$

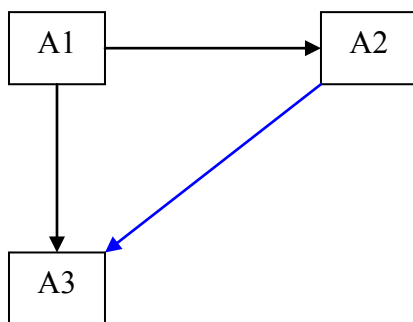
$$\text{За A3: } T_{(A3)} = T_{(A3)}^{+} - T_{(A3)}^{-} ;$$

#### **Чекор 5:** Рангирање на акциите според големината на чистите текови.

Сега може да се изврши потполно рангирање на алтернативите врз основа на големината на чистите текови, како што е прикажано во следнава табела.

Табела за рангирање на алтернативите

	Т	Ранг
A1	1,000	<b>1</b>
A2	0,000	<b>2</b>
A3	- 1,000	<b>3</b>



Графикон на највисок ранг според методата **PROMETHEE II**

**Чекор 5:** Одредување на сите парови на потполни поредоци на  $[P^+, I^+]$  и  $[P^-, I^-]$ .

	A1				A2				A3			
	$P^+$	$P^-$	$I^+$	$I^-$	$P^+$	$P^-$	$I^+$	$I^-$	$P^+$	$P^-$	$I^+$	$I^-$
A1	-	-	-	-	ДА	не	ДА	ДА	не	не	не	ДА
A2	ДА	ДА	ДА	ДА	-	-	-	-	не	не	не	ДА
A3	ДА	не	ДА	ДА	не	не	не	ДА	-	-	-	-

Добиените резултати од примената на методите: PROMETHEE I и PROMETHEE II, покажаа дека решението е еднозначно и идентично. Конечниот ранг на алтернативните решенија е:  $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3$ , односно: Алтернатива I  $\rightarrow$  Алтернатива II  $\rightarrow$  Алтернатива III.

Според резултатите добиени со решавањето на повеќекритериумскиот модел како оптимално решение за експлоатација на јаловината во рудникот „Брод – Гнеотино“ со двата багера CPC-2000, е алтернативата A1 односно работа на багерот во висински блок од 20 (м)

## 10. ДИСКУСИЈА

Во текот на изработката на овој магистерски труд го испитував работењето на багерите CPC -2000/1 и CPC -2000/2 во рудникот „Брод – Гнеотино“, кои работаат на I – БТО и II– БТО систем. Анализирајќи ги нивните работни параметри, како и начинот на експлоатација планиран од рударска припрема во изминатиот период повеќе од една година, како и од работењето на двата багера CPC-2000 во периодот од 1981 до 2009 година, за кое имам претходно дадено табеларно по години остварен капацитет, ефективни часови годишно, како и просечен годишен капацитет од што дојдов до следниот заклучок:

Багерот CPC -2000 во текот на една година може да работи околу 4.000 до 4.400 ефективни часа годишно, со просечен експлоатационен капацитет од 1.650 ( $m^3/h$ ) и вкупно годишно производство од 7. 200.000 ( $m^3 /god.$ ).

Исто така, во мојот магистерски труд ги зедев предвид и трите варијанти на работа на багерот кои и најчесто се планираат од страна на рударска подготовка и се применуваат во начинот на експлоатација како во рудникот „Суводол“, така и во рудникот „Брод – Гнеотино“. Од моите истражувања како и врз основа на извршеното решавање на повеќекритериумски модел со методата PROMETHEE I и PROMETHEE II извршив рангирање и дојдов до заклучок дека алтернативата A1 дава најдобри резултати и ја предлагам за понатамошното работење со следниве оптимални работни параметри:

- Висина на блокот: 20(m)
- Ширина на блокот: 55(m)
- Длабина на откопување на блокот 24(m)
- Висини на I, II, III рез исти по: 7(m)
- Агол на страничната косина: 50(°)
- Агол на челната косина: 50(°)
- Агол на вртење на стрелата од работното тркало
  - I рез 90(°)
  - II рез 69(°)
  - III рез 62(°)
- Димензии на исечокот: 0,4(m)

- Време на кружно вртење на стрелата за блок од 55 m = 12,5 min
- Копање на еден рез од 7m висина и ширина од 55 m = 4 h
- Време за промена на рез = 5 min.

При планирањето за работа на багерите Srs -2000 во понатамошниот период да се земе предвид алтернативата A1 со висина на блокот од 20 (m), а висините поголеми од 20(m) да се снижуваат со багерите Дреглајни ЕШ 6/45 и ЕШ 10/70, а исто така багерот да работи во висински блок каде што ќе постигне максимални резултати односно максимален капацитет што е потврдено со моите пресметки во алтернатива A1. Во длабинска работа да не се планира да работаат роторните багери CPC -2000, бидејќи според алтернативата A2 и A3 се гледа дека се добиваат многу послаби резултати односно помали капацитети, а со тоа и помало годишно производство за исти број на ефективни работни часови.

Исто така големо влијание за одредување на оптималните работни параметри на багерот CPC 2000 имаат : геометриските параметри на откопниот блок на багерот (висина на етажата, аглите на челната и бочната косина, широчината на блокот, длабина на откопување на блокот, длабината на исечокот и висината на трите реза), техничката способност на роторниот багер (при различни услови на експлоатација), факторот на искористеност на капацитетот на транспортерот по багерот (при различни услови на експлоатација), експлоатациониот капацитет на багерот CPC – 2000 и постоечкиот степен на квалификација и оспособеност на ракувачите (при различни услови на експлоатација дадено во алтернативните решенија), како и оценка за потребниот степен на обука, доквалификување и перманентно образование на работниот кадар потребно за работа на роторниот багер CPC 2000 во различни технолошки услови.

## 11. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на извршените пресметки во овој магистерски труд, како и врз досегашните истражувања кои траеја повеќе од една година и повеќегодишното работење на двата багера CPC - 2000 во рудникот „Суводол“ за кои претходно ги имам дадено табеларно и со графикои може да се дојде до заклучок дека за остварувањето на максимални резултати багерот CPC -2000 треба да работи со предложената варијанта A1, односно во блок со следниве работни параметри:

- Висина на блокот: 20(m)
- Ширина на блокот: 55(m)
- Длабина на откопување на блокот: 24(m)
- Висини на I, II, III рез исти по: 7(m)
- Агол на страничната косина: 50(°)
- Агол на челната косина: 50(°)
- Агол на вртење на стрелата од работното тркало
  - I рез 90(°)
  - II рез 69(°)
  - III рез 62(°)
- Димензии на исечокот: 0,4(м)

Според повеќекритериумската метода се анализирани трите алтернативни решенија и според добиените резултати алтернативата A1 дава најдобри резултати. Затоа се предлага во натамошната работа на двата багера CPC - 2000 кои работаат во рудникот „Брод – Гнеотино“, при планирањето на технологијата на работа да се примени алтернативата A1 во која се земени предвид оптималните работни параметри со кои како што е прикажано претходно се добиваат најдобри резултати, односно најголеми експлоатациони капацитети.

Исто така големо влијание за одредување на оптималните работни параметри на багерот CPC 2000 имаат : геометриските параметри на откопниот блок на багерот (висина на етажата, аглите на челната и бочната косина, широчината на блокот, длабина на откопување на блокот, длабината на исечокот и висината на трите реза), техничката способност на роторниот багер (при различни услови на експлоатација), факторот на искористеност на капацитетот на

транспортерот по багерот (при различни услови на експлоатација), експлоатациониот капацитет на багерот CPC – 2000 и постоечкиот степен на квалификација и оспособеност на ракувачите (при различни услови на експлоатација дадено во алтернативните решенија), како и оценка за потребниот степен на обука, доквалификување и перманентно образование на работниот кадар потребно за работа на роторниот багер CPC 2000 во различни технолошки услови.

<b>Слика 1.</b> Роторен багер без извлекување на стрелата -----	6
<b>Слика 2.</b> Роторен багер CPC – 2000 -----	7
<b>Слика 3.</b> Работни димензии на роторен багер без извлекување на стрелата -----	9
<b>Слика 4.</b> Облици на ископ на роторен багер -----	11
<b>Слика 5.</b> Елементи на блокот на роторен багер -----	12
<b>Слика 6.</b> Работа на багерот CPC – 2000 -----	14
<b>Слика 7.</b> Граничен агол на наклонот на фронталната косина на блокот и ограничувања на приодот на багерот кон фронталната косина -----	15
<b>Слика 8.</b> Максимална длабочина на блокот во слој, ограничена со приодот на багерот кон долниот раб на косината на блокот (а) и со приближувањето на стрелата кон понискиот неоткопан слој (б) -----	16
<b>Слика 9.</b> Профилирање на страничната косина на блокот со промена на аголот на вртење на стрелата (а) и граничниот агол на вртење на стрелата (б) -----	17
<b>Слика 10.</b> Обработка на страничната косина на блокот со промена на аголот на вртење на стрелата -----	18
<b>Слика 11.</b> Влијание на положбата на оската на трасата на аглите на вртење на стрелата -----	20
<b>Слика 12.</b> Облици на резони на појасите во блокот, во зависност од аглите на вртење на стрелата -----	22
<b>Слика 13.</b> Шеми на работа на роторен багер по слоеви -----	23
<b>Слика 14.</b> Разложување на силата на отпорот на копање на тангенцијална $P_{01}$ и нормална $P_{02}$ компонента -----	24
<b>Слика 15.</b> Шеми на копање со роторен багер во блок -----	25
<b>Слика 16.</b> Изглед и положба на вертикалните (а) и хоризонталните (б) одрезоци во еден рез -----	26
<b>Слика 17.</b> Зависност на ширината на одрезокот и брзината на вртење на стрелата од нејзината должина -----	27
<b>Слика 18.</b> Трансформација на срповидниот одрезок на роторниот багер во призма -----	29
<b>Слика 19.</b> Параметри на хоризонтален одрезок на роторен багер -----	29



<b>Слика 20.</b> Број и должина на поместувања на багерот при копање со повеќередни (а) и комбинирани одрезоци (б) -----	30
<b>Слика 21.</b> Димензии на роторот и хоризонталниот одрезок -----	31
<b>Слика 22.</b> Шема за пресметка на волуменот на резот (низа од одрезоци во блокот) -----	31
<b>Слика 23.</b> Промени на дебелината, ширината и попречниот пресек на вертикален (а) и хоризонтален (б) одрезок -----	33
<b>Слика 24.</b> Волумен на корпата на багер (а) роторен багер без ќелии со соодветен прстенест простор, (б) по TGL стандард -----	37
<b>Слика 25.</b> Зависност на техничкиот капацитет од специфичниот отпор на копање - -----	41
<b>Слика 26.</b> Поделба на багерскиот блок, според секторите на копање -----	44
<b>Слика 27.</b> Годишен $Q_{th} - T$ дијаграм на работа на роторен комплекс -----	46
<b>Слика 28.</b> Структура на годишно време на работа и застои на багерот и други машини во површинскиот коп -----	50
<b>Слика 29.</b> Геолошка карта на пошироката околина на наоѓалиштето Брод – Гнеотино -----	56
<b>Слика 30.</b> Топографска карта со назначена положба на проектираните истражно-експлоатациони бунари -----	58
<b>Слика 31.</b> Роторен багер CPC 2000-32/5+VR -----	70
<b>Слика 32.</b> Роторен багер CPC 2000-32/5+VR, технолошки параметри -----	70
<b>Слика 33.</b> Шема на откопување со I БТО систем -----	71
<b>Слика 34.</b> Работа на багерот CPC 2000 во висински блок од 20 (m) -----	73
<b>Слика 35.</b> Работа на багерот CPC 2000 во висински блок од 20 (m) -----	74
<b>Слика 36.</b> Работа на багерот CPC 2000 во висински блок од 20 (m) -----	74
<b>Слика 37.</b> Работа на багерот CPC 2000 во висински блок со подетажа од 4 (m) -----	75
<b>Слика 38.</b> Технолошка шема на работа на багерот CPC 2000 во длабински блок на нивелета на двата транспорта со -3 (m) во однос на транспортната лента -----	76

<b>Слика 39.</b> Работа на багерот CPC 2000 во длабински блок на нивелета на двата транспорта со -3 (м) во однос на транспортната лента -----	77
<b>Слика 40.</b> Кипање на претоварниот уред на пресипна количка при работа на багерот CPC 2000 со -3 (м) во однос на транспортната -----	78
<b>Слика 41.</b> Работа на багерот CPC 2000 во длабински блок на ниво на големиот транспорт -10 (м) -----	79
<b>Слика 42.</b> Отстапно-настапна работа на багерот CPC 2000 -----	80
<b>Слика 43.</b> Преминување од транспортер на транспортер -----	82
<b>Слика 44.</b> Преминување од транспортер на транспортер -----	83
<b>Слика 45.</b> Класификација на методите на повеќекритериумното одлучување -----	91
<b>Слика 46.</b> Функција на преференција за тип на критериум I -----	97
<b>Слика 47.</b> Функција на преференција за тип на критериум II -----	98
<b>Слика 48.</b> Функција на преференција за тип на критериум III -----	98
<b>Слика 49.</b> Функција на преференција за тип на критериум IV -----	99
<b>Слика 50.</b> Функција на преференција за тип на критериум V -----	99
<b>Слика 51.</b> Функција на преференција за тип на критериум VI -----	100
<b>Слика 52.</b> Шема на фазите на процесот на одлучување -----	105
<b>Слика 53.</b> Дијаграм на остварен капацитет по години на багерите CPC - 2001 и CPC - 2002 -----	108
<b>Слика 53.</b> Дијаграм на остварен капацитет по години на багерите CPC - 2001 и CPC - 2002 -----	108
<b>Слика 55.</b> Висина на копање на роторниот багер -----	110
<b>Слика 56.</b> Длабина на копање -----	112
<b>Слика 57.</b> Вкупна висина на копање -----	113
<b>Слика 58.</b> Шематски приказ на страничната косина -----	115
<b>Слика 59.</b> Агол на наклон на челната косина -----	117
<b>Слика 60.</b> Агли на вртење на работното тркало на багерот CPC 2000 -----	118
<b>Слика 61.</b> Детал на приод на работното тркало на страничната косина -----	119

<b>Слика 62.</b> Конструкција на страничната косина со наклон од 50(°) за багер CPC 2000 $H_{\max}=32(m)$ -----	123
<b>Слика 63.</b> Откопен капацитет на багерот CPC - 2000 во зависност од видот на копањето -----	147
<b>Слика 64.</b> Експлоатационен капацитет на багерот CPC - 2000 во зависност од видот на копањето -----	147
<b>Слика 65.</b> Годишен капацитет на багерот CPC - 2000 во зависност од видот на копањето -----	148
<b>Слика 66.</b> График на линеарна трансформација на квалитети на атрибути -----	155
<b>Табела 1.</b> Класификација на капацитетите на багерот и фактори на влијание-----	36
<b>Табела 2.</b> Просечни временски податоци и показатели на искористување на капацитетот за површински копови на лигнит во поранешна Југославија за 1979 година -----	49
<b>Табела 3.</b> Геомеханички карактеристики на работната средина -----	62
<b>Табела 4.</b> Компаративна анализа на основните карактеристики на двете методи на оптимизација -----	86
<b>Табела 5.</b> Производни резултати на роторните багери CPC - 2002 и CPC -2001 во период од 1981 до 2009 год. -----	107
<b>Табела 6.</b> Висина на блокот на роторниот багер CPC 2000 на површинскиот коп -----	111
<b>Табела 7.</b> Максимална длабина на копање на роторниот багер на површинскиот коп -----	113
<b>Табела 8.</b> Минимални агли на страничните косини на роторниот багер од површинскиот коп -----	116
<b>Табела 9.</b> Преглед на аглите на наклон на челните косини на блоковите кои ги изработуваат роторните багери на површинскиот коп „Брод-Гнеотино“ -----	117
<b>Табела 10.</b> Приказ на условите на слободно режење и условите во последниот рез на блоковите за роторниот багер од површинскиот коп „Брод-Гнеотино“-----	120
<b>Табела 11.</b> Физичко-механички особини на седиментните карпи од лежиштето „Брод – Гнеотино“ кои ќе ги откопува багерот CPC – 2000 -----	127

<b>Табела 12.</b> Пресметаните капацитети на роторниот багер CPC -2000 според трите алтернативи (A1, A2 и A3) -----	146
<b>Табела 13.</b> Алтернативи -----	149
<b>Табела 14.</b> Критериуми -----	151
<b>Табела 15.</b> Тежини на критериумските функции -----	152
<b>Табела 16.</b> Приказ на нормализирани тежини и цел на критериумите -----	153
<b>Табела 17.</b> Параметри на роторниот багер Cpc 2000 -----	154
<b>Табела 18.</b> Влезен модел -----	156
<b>Табела 19.</b> Графикони -----	158
<b>Табела 20.</b> Индекс на преференција -----	160

## КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Janos Kun (1981) , Površinska eksploatacija lignita I – kniga
2. Janos Kun (1981) , Površinska eksploatacija lignita II – kniga
3. Pavlović V. (1992) , Tehnologija površinskog otkopavanja Rudarsko – geološki fakultet, Beograd
4. Popovic N. (1957) , Naucne osnove projektovanja površinskih kopova – Rudarsko – geoloski institut i fakultet Tuzla
5. Vujić S. (2006) , Selektivno otkopavanje I odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja,
6. Панов З. (2001) , Повеќекритериумски математичко – моделски пристапи при планирање и проектирање на површинските копови, докторска дисертација. РГФ -Штип
7. РИ-ПОВЕ Рударски институт – Скопје (2006, јули) , Главен рударски проект за отворање и експлоатација на ПК „Брод-Гнеотино”,  
- Технички проект за откривка (книга 2/2).
8. РИ-ПОВЕ Рударски институт – Скопје (2006,август) , Главен рударски проект за отворање и експлоатација на ПК „Брод-Гнеотино”,  
- Проект за заштита на површинскиот коп од површински и подземни води (книга 6).
9. РИ-ПОВЕ Рударски институт – Скопје (2006,август),  
-Технички проект за ископ на јаловина (книга II)
10. РЕК – Битола Подружница (1978), Електропроект за багер CPC – 2000
11. [www.greatmining.com](http://www.greatmining.com)
12. [www.nationalarchives.gov.uk](http://www.nationalarchives.gov.uk)
13. [www.srk.co.uk](http://www.srk.co.uk)

**Зоранчо Богдановски дипл.руд.инж.**

**Оптимизација на работните параметри на роторен багер СРС-2000 при  
откопување на јаловина во ПК „Брод - Гнеотино”**

**Универзитет „Гоце Делчев” - Штип**